



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

**ANALISIS KARAKTERISTIK BUSUR API LISTRIK
TEGANGAN RENDAH PADA HUBUNG SINGKAT
LANGSUNG MELALUI SINKRONISASI PENGINDERAAN
TERMAL BUNGA API DAN ARUS HUBUNG SINGKAT**

Rifki Wiryatama
NRP 2212 100 163

Dosen Pembimbing
Dr. Dimas Anton Asfani, S.T., M.T.
Danar Fahmi, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE 141599

**ANALYSIS OF LOW VOLTAGE ARC FLASH
CHARACTERISTIC ON DIRECT SHORT CIRCUIT BY
SPARK THERMAL IMAGING AND SHORT CIRCUIT
CURRENT SYNCHRONIZATION**

Rifki Wiryatama
NRP 2212 100 163

Advisors

Dr. Dimas Anton Asfani, S.T., M.T.
Daniar Fahmi, S.T., M.T.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Analisis Karakteristik Busur Api Listrik Tegangan Rendah pada Hubung Singkat Langsung melalui Sinkronisasi Penginderaan Termal Bunga Api Dan Arus Hubung Singkat**” adalah benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 18 Desember 2016

Rifki Wiryatama
NRP. 2212100163

**ANALISIS KARAKTERISTIK BUSUR API LISTRIK
TEGANGAN RENDAH PADA HUBUNG SINGKAT
LANGSUNG MELALUI SINKRONISASI
PENGINDERAAN TERMAL BUNGA API DAN ARUS
HUBUNG SINGKAT**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

Pada

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyutujui :

Dosen Pembimbing I,



Dr. Dimas Anton Asfani, S.T., M.T.

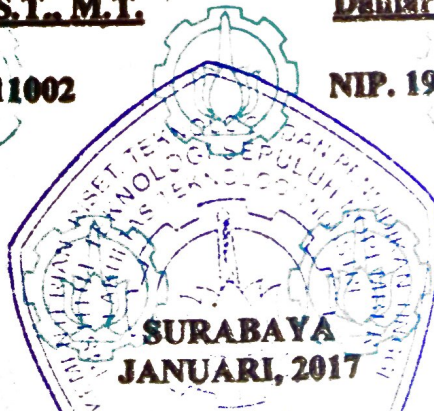
NIP. 198109052005011002

Dosen Pembimbing II,



Deniar Fahmi, S.T., M.T.

NIP. 198909252014041002



ANALISIS KARAKTERISTIK BUSUR API LISTRIK TEGANGAN RENDAH PADA HUBUNG SINGKAT LANGSUNG MELALUI SINKRONISASI PENGINDERAAN TERMAL BUNGA API DAN ARUS HUBUNG SINGKAT

Nama : Rifki Wiryatama
Pembimbing I : Dr. Dimas Anton Asfani, S.T., M.T.
Pembimbing II : Daniar Fahmi, S.T., M.T.

ABSTRAK

Salah satu bahaya yang bisa timbul akibat penggunaan listrik adalah gangguan hubung singkat yang bisa menimbulkan busur api listrik dan memicu terjadinya kebakaran. Kasus kebakaran yang disebabkan oleh hubung singkat listrik pada tegangan rendah meningkat setiap tahun. Pada beberapa kasus, kebakaran pada instalasi tegangan rendah disebabkan oleh adanya gangguan hubung singkat yang tidak menyebabkan putusnya fuse pengaman atau breaker yang diawali dengan munculnya busur api listrik. Dalam eksperimen ini akan dilakukan simulasi kejadian hubung singkat pada kabel serabut tegangan rendah ukuran 1.5mm^2 , dengan variasi jumlah serabut yang mengalami kontak. Ketika busur api listrik terjadi, arus dan tegangan busur api akan direkam. Selain itu, dalam waktu yang sama, proses terjadinya busur api listrik akan direkam melalui kamera termal. Data arus dan tegangan akan disinkronisasikan dengan data hasil pencitraan busur api listrik pada kamera termal. Hasil sinkronisasi akan dianalisa, sehingga dapat menghasilkan suhu maksimum busur api, data luas busur api, waktu peluruhan suhu busur api, arus ketika terjadi busur api listrik, dan durasi terjadinya gangguan hubung singkat. Hasil studi ini diharapkan dapat membantu pembuatan alat proteksi busur api listrik tegangan rendah pada penelitian selanjutnya.

Kata Kunci: Busur Api Listrik Tegangan Rendah, Karakteristik Busur Api Tegangan Rendah, Kamera Termal

Halaman ini sengaja dikosongkan

**ANALYSIS OF LOW VOLTAGE ARC FLASH CHARACTERISTICS
ON DIRECT SHORT CIRCUIT BY SPARK THERMAL IMAGING
AND SHORT CIRCUIT CURRENT SYNCHRONIZATION**

Name : Rifki Wiryatama
1st Advisor : Dr. Dimas Anton Asfani, S.T., M.T.
2nd Advisor : Daniar Fahmi, S.T., M.T.

ABSTRACT

One of the risk that can occur from the use of electricity is a short circuit that could cause electrical arc flash and lead to fires. The wildfire incident that caused by electrical short circuit at low voltage increasing every year. In some cases, fire at low voltage installation caused by short circuit that begin with the appearance of an electrical arc flash does not cause fuse or breaker to operate. In these experiments will be simulated short circuit event using 1.5mm² low voltage fiber cable with various numbers of contacted fibers. When electrical arcing occurs, current and voltage arc will be recorded. Moreover, in the same time, the occurrence process of arc flash will be recorded via thermal camera. Current and voltage data will be synchronized with arc flash imaging data in thermal camera. This synchronization results will be analyzed, so it can be resulting arc flash maximum temperature, arc flash area, arc flash temperature decay period, arc flash occurrence current, and fault duration. The result of this experiment is expected to design protective device that can detect low voltage arc flash in future studies.

Keywords: Low Voltage Arc Flash , Arc Flash Characteristics, Thermal Camera

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah S.W.T yang selalu memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.

Tugas Akhir yang berjudul “**Analisis Karakteristik Busur Api Listrik Tegangan Rendah pada Hubung Singkat Langsung melalui Sinkronisasi Penginderaan Termal Bunga Api dan Arus Hubung Singkat**” ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan guna menyelesaikan pendidikan sarjana pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Pelaksanaan dan penyelesaian Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dimas Anton Asfani, Bapak Daniar Fahmi, dan seluruh Dosen Laboratorium Tegangan Tinggi atas segala pengetahuannya dan waktunya dalam membimbing penulis sampai terselesaikannya Tugas Akhir ini.
2. Orang tua penulis yang selalu memberikan nasehat, semangat, dan doa kepada penulis sehingga Tugas Akhir ini bisa terselesaikan tepat pada waktunya.
3. Member Blok T-88 Perumdos ITS yang selalu memberikan semangat kepada penulis selama mengerjakan Tugas Akhir.
4. Seluruh Dosen, dan Staff Karyawan Jurusan Teknik Elektro-FTI, ITS yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.
5. Teman-teman Angkatan 2012 yang membantu penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir.
6. Teman-teman Laboratorium Tegangan Tinggi yang senantiasa mengingatkan dan mendukung penulis agar penulis bisa wisuda ke-115.

Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini bermanfaat dan berguna bagi penulis khususnya dan juga bagi para pembaca pada umumnya.

Surabaya, Desember 2016

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PERNYATAAN	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Metode Penelitian	2
1.6 Sistematika Laporan	3
 BAB II BUSUR API LISTRIK PADA TEGANGAN	
RENDAH	5
2.1 Fenomena Busur Api Listrik (<i>Arc Flash</i>)	5
2.2 Fenomena Busur Api Listrik pada Kabel	
Tegangan Rendah	6
2.3 Akibat yang Ditimbulkan Busur Api Listrik.....	8
2.4 Karakteristik Busur Api Listrik pada Beban	
Resistif.....	10
2.5 Proses Terbentuknya Api	12
2.6 Penginderaan Termal Busur Api Listrik	15
 BAB III PERANCANGAN ALAT EKSPERIMEN,	
PENGAMBILAN DAN PENGOLAHAN DATA	19
3.1 Perancangan Alat Eksperimen	19

3.1.1 <i>Current Transformer</i>	21
3.1.2 <i>Automatic Fuse dan Fuse Box</i>	22
3.1.3 NI 9246 dan NI 9223	23
3.1.4 Verivolt Entube DE-HB.....	24
3.1.5 Kabel NYMHY 2x1,5mm ²	26
3.1.6 Beban Lampu 1000 Watt	28
3.1.7 Fluke Thermal Imager Camera Ti 125.....	29
3.1.8 <i>Chamber</i> Kamera Akrilik	30
3.2 Pengambilan Data.....	30
3.2.1 Akuisisi Data	30
3.2.2 Variasi Jumlah Serabut	32
3.2.3 Perekaman Kamera Termal.....	32
3.3 Pengolahan Data	33
3.3.1 Proses Pemotongan Sinyal.....	34
3.3.2 Proses Ekstraksi Video	35
3.3.3 Pengukuran Luas Busur Api	36
3.3.4 Sinkronisasi Citra Termal Bunga Api dengan Arus Hubung Singkat	36
 BAB IV ANALISA DATA	 39
4.1 Perekaman Data Arus, Tegangan, Suhu, dan Citra Bergerak Bunga Api.....	39
4.2 Analisis Data Karakteristik Busur Api Listrik Tegangan Rendah pada Hubung Singkat Langsung.....	40
4.2.1 <i>Maximum Temperature Arc Flash</i>	40
4.2.2 <i>Arc Flash Area</i>	43
4.2.3 <i>Temperature Decay Period</i>	49
4.2.4 Arus Maksimum	51
4.2.5 <i>Fault Duration</i>	53
4.2.6 <i>Fuse Trip</i>	54
4.2.7 Sinkronisasi Data	55

BAB V PENUTUP.....	59
5.1 Kesimpulan	59
5.2 Saran	60
DAFTAR PUSTAKA	61
RIWAYAT HIDUP PENULIS	63

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Busur api listrik akibat hubung singkat langsung pada kabel.....	5
Gambar 2.2 Kabel listrik yang mengalami kerusakan isolasi akibat gigitan tikus	6
Gambar 2.3 Kabel listrik yang mengalami kerusakan isolasi akibat pemanasan.....	7
Gambar 2.4 Sambungan kabel berlebihan.....	8
Gambar 2.5 Stop kontak yang terbakar akibat pemasangan kontak yang kurang rapat	9
Gambar 2.6 Karakteristik arus busur api listrik seri pada beban resistif.....	10
Gambar 2.7 Karakteristik tegangan saat terjadi busur api listrik setengah <i>cycle</i> pada beban resistif.....	11
Gambar 2.8 Tegangan dan arus saat terjadi busur api listrik.....	11
Gambar 2.9 Segitiga api	12
Gambar 2.10 Contoh hasil jepretan dari kamera termal	16
Gambar 3.1 Skema rangkaian alat eksperimen busur api listrik pada tegangan rendah	19
Gambar 3.2 Realisasi alat eksperimen busur api listrik pada tegangan rendah	20
Gambar 3.3 <i>Current Transformer</i> (CT).....	22
Gambar 3.4 <i>Automatic Fuse</i> dan <i>Fuse Box</i>	22
Gambar 3.5 NI 9246 dan NI 9223	23
Gambar 3.6 Verivolt Entube DE-HB	24
Gambar 3.7 Konfigurasi Verivolt Entube DE-HB (a)	25
Gambar 3.8 Konfigurasi Verivolt Entube DE-HB (b).....	25
Gambar 3.9 Konfigurasi Verivolt Entube DE-HB (c).....	26
Gambar 3.10 Kabel Serabut NYMHY 1.5mm ²	27
Gambar 3.11 Beban Lampu 1000 Watt.....	28
Gambar 3.12 Fluke Ti 125	29

Gambar 3.13 Tampilan <i>front panel</i> dan <i>block diagram</i> pada LabVIEW untuk eksperimen busur api listrik.....	31
Gambar 3.14 Variasi jumlah serabut kabel untuk eksperimen busur api listrik: (a) serabut 1, (b) serabut 3, (c) serabut 6, (d) serabut 12, dan (e) serabut 24.....	32
Gambar 3.15 Kondisi kabel sebelum mengalami hubungan singkat	33
Gambar 3.16 Tampilan <i>software</i> DIAdem.....	34
Gambar 3.17 Hasil proses ekstraksi video menjadi <i>frame</i>	35
Gambar 3.18 Tampilan antarmuka dalam melakukan sinkronisasi data	37
Gambar 4.1 Proses terjadinya busur api listrik yang terekam oleh kamera termal, ketika terjadi kontak (a), <i>flash</i> (b), dan <i>debris</i> (c)	39
Gambar 4.2 Grafik <i>maximum temperature arc flash</i> pada eksperimen	41
Gambar 4.3 Grafik <i>arc flash area</i> pada eksperimen	44
Gambar 4.4 <i>Arc flash area</i> dengan jumlah 1 serabut	45
Gambar 4.5 <i>Arc flash area</i> dengan jumlah 3 serabut	46
Gambar 4.6 <i>Arc flash area</i> dengan jumlah 6 serabut	47
Gambar 4.7 <i>Arc flash area</i> dengan jumlah 12 serabut	48
Gambar 4.8 <i>Arc flash area</i> dengan jumlah 24 serabut	49
Gambar 4.9 Sinkronisasi <i>temperature decay period</i> pada eksperimen	50
Gambar 4.10 Grafik <i>temperature decay period</i> pada eksperimen	51
Gambar 4.11 Grafik arus maksimum menggunakan <i>max & min absolute coordinate</i>	52
Gambar 4.12 Grafik arus maksimum pada eksperimen	53
Gambar 4.13 Grafik <i>fault duration</i> pada eksperimen.....	54
Gambar 4.14 Sinkronisasi data sebelum terjadi kontak	56
Gambar 4.15 Sinkronisasi data saat terjadi kontak	56
Gambar 4.16 Sinkronisasi data saat terjadi <i>flash</i>	57
Gambar 4.17 Sinkronisasi data saat terjadi <i>debris</i>	57

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Spesifikasi <i>Current Transformer</i> (CT)	21
Tabel 3.2 Spesifikasi NI 9223 dan NI 9246.....	23
Tabel 3.3 Karakteristik Kelistrikan Kabel NYMHY	27
Tabel 4.1 Data <i>maximum temperature arc flash</i> yang terekam selama eksperimen	41
Tabel 4.2 Data <i>arc flash area</i> pada eksperimen	44
Tabel 4.3 Data <i>temperature decay period</i> pada eksperimen.....	50
Tabel 4.4 Data arus maksimum yang terekam selama eksperimen.....	53
Tabel 4.5 Data <i>fault duration</i> pada eksperimen.....	54
Tabel 4.6 Data status <i>fuse trip</i> pada eksperimen.....	55

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan listrik merupakan kebutuhan utama dalam kehidupan manusia, baik pada sektor rumah tangga, penerangan, komunikasi, industri dan lain sebagainya. Salah satu bahaya akibat penggunaan listrik adalah bahaya kebakaran akibat hubung singkat atau sering disebut korsleting. Dibutuhkan sistem keamanan yang lebih handal dalam penggunaan listrik yang besar untuk mengurangi resiko terjadinya kebakaran. Kasus kebakaran yang diakibatkan hubung singkat setiap tahunnya meningkat. Berdasarkan data Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) periode Agustus 2011 sampai dengan April 2015 dari 973 kasus kebakaran yang terjadi di pemukiman penduduk 644 diantaranya disebabkan oleh hubung singkat arus listrik yang disertai peristiwa busur api listrik. Hubung singkat adalah proses terjadinya kontak antara dua titik yang memiliki beda potensial yang mengakibatkan melonjaknya arus listrik yang menyebabkan kenaikan suhu secara drastis pada konduktor. Jika kabel tidak mampu menopang nilai arus yang lewat, maka kabel bisa terbakar atau juga bisa timbul busur api. Dapat dikatakan bahwa gangguan hubung singkat pada sistem tegangan rendah yang menimbulkan busur api listrik sering kali tidak terdeteksi oleh sekering pengaman atau MCB. Hal ini dapat terjadi pada kabel atau konduktor tegangan rendah yang mengalami kerusakan isolasi karena pemanasan, penuaan, ataupun karena gangguan eksternal lain seperti dimakan binatang pengerat.

Dalam studi ini akan dibahas beberapa permasalahan yaitu mengenai bagaimana mekanisme terjadinya busur api listrik, karakteristik busur api listrik, dan pengaruh jumlah serabut konduktor terhadap karakteristik termal busur api listrik yang terjadi pada hubung singkat langsung tegangan rendah. Dalam studi ini, dilakukan eksperimen busur api listrik dengan menggunakan suatu perangkat hubung-singkat buatan. Dalam studi ini dibatasi pada analisis yang dilakukan terhadap hasil eksperimen busur api listrik tegangan rendah pada kabel serabut 1.5mm^2 dengan beban resistif. Hasil eksperimen berupa arus, tegangan, dan citra penginderaan termal busur api listrik diolah hingga didapatkan karakteristik berupa arus maksimum dan arus pada saat busur api terjadi.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam eksperimen ini yaitu menentukan karakteristik dari busur api listrik yang berupa nilai arus ketika terjadi *arc flash*. Parameter yang selanjutnya yang dicari adalah fenomena-fenomena yang terjadi saat eksperimen berlangsung yang meliputi luas busur api (*arc flash area*), waktu peluruhan suhu pada busur api (*temperature decay period*), dan suhu maksimum yang terdeteksi pada busur api (*max temperature arc flash*).

1.3 Batasan Masalah

Dalam menyelesaikan permasalahan pada eksperimen ini diperlukan batasan permasalahan. Sistem tegangan rendah yang digunakan adalah sistem tegangan jala-jala dari PLN 220V. Dalam pengolahan data arus dan tegangan yang terekam, analisa dilakukan pada magnitudo dari arus dan tegangan yang terekam.

1.4 Tujuan

Tujuan dari eksperimen ini adalah untuk mengetahui karakteristik busur api listrik yang menyebabkan letupan bunga api yang menyebar ke segala arah. Dari karakteristik ini, akan diketahui fenomena-fenomena yang terjadi selama busur api listrik berlangsung.

1.5 Metode Penelitian

Dalam eksperimen ini, diperlukan metode penelitian yang tepat agar pelaksanaan eksperimen sesuai dengan perencanaan. Metode penelitian pada eksperimen ini meliputi studi literatur, persiapan, pengambilan data, pengolahan data, dan penarikan kesimpulan.

Dalam studi literatur, pengumpulan referensi dilakukan untuk mencari definisi, pengertian, dan semua tulisan yang berhubungan dengan eksperimen ini. Beberapa kata kunci yang bisa disebutkan untuk studi literatur ini seperti busur api listrik, hubung singkat, pengindraan termal, arus hubung singkat, switching, metode akuisisi data, dsb. Dari literatur-literatur yang didapat ini, nantinya diadopsi sebagian isinya sebagai pendukung dalam eksperimen ini.

Setelah pengumpulan dan studi literatur terlaksanakan, selanjutnya adalah persiapan segala hal yang dibutuhkan untuk penulisan eksperimen ini. Yang harus disiapkan untuk penulisan eksperimen ini adalah peralatan-peralatan yang diperlukan dalam pengamatan dan perekaman busur api listrik. Nantinya akan dibuat sebuah alat yang

mensimulasikan hubung singkat langsung berupa arc chamber yang terhubung ke beban lampu filamen. Alat lain yang harus disiapkan adalah obyek uji, yaitu kabel NYMHY 1.5mm², dan instrumen untuk akuisisi data, yaitu Fluke TI-125 untuk penginderaan termal busur api, NI 9223 dan NI 9246 untuk merekam tegangan dan arus hubung singkat yang dihubungkan ke NI Labview.

Pengambilan data ini bertujuan untuk pengolahan data pada eksperimen. Metode pengambilan data nantinya menggunakan DAQ yang terhubung pada komputer untuk merekam arus dan tegangan, dan menggunakan kamera termal untuk merekam citra bunga api. Digunakan CorelDRAW untuk menentukan lebar dari percikan busur api. Pengujian akan dilakukan dengan variabel beban dan jumlah serabut pada kabel NYMHY.

Pengolahan data dalam penulisan eksperimen ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik busur api listrik pada kasus hubung singkat. Data yang diperoleh dari pengambilan data, nanti akan diolah menggunakan Labview dan Microsoft Excel untuk mengetahui. Data yang diolah adalah data arus, tegangan, dan citra termal busur api listrik. Ketiga data ini nantinya akan dikombinasikan sehingga didapatkan grafik arus dan tegangan ketika hubung singkat yang akan dicocokkan dengan sekuen citra termal bunga api yang terekam menggunakan kamera termal.

Memberikan kesimpulan bagaimana karakteristik busur api listrik pada kasus hubung singkat tegangan rendah dengan pengaruh jumlah serabut yang bersentuhan, beban terpasang, dan sebaran bunga apinya.

1.6 Sistematika Laporan

Sistematika penulisan laporan eksperimen ini terdiri dari lima bagian. Setiap bagian memiliki lingkup pembahasan masing-masing.

Bab pertama merupakan pendahuluan yang berisikan latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan, manfaat, metodologi, dan sistematika penulisan.

Bab kedua menjelaskan tentang landasan teori fenomena busur api listrik pada tegangan rendah, akibat yang ditimbulkan, mekanisme terjadinya busur api listrik dan karakteristik busur api listrik (berdasarkan studi pustaka yang telah ada sebelumnya).

Bab ketiga akan membahas tentang pembuatan alat eksperimen busur api listrik, bahasa pemrograman LabVIEW, pengambilan dan pengolahan data berupa “arus” dan “tegangan” saat busur api listrik

terjadi pada beberapa media dengan memperhatikan jumlah serabut konduktor kabel menggunakan beberapa *software* penunjang yaitu DIAdem, Microsoft Excel, Matlab, dan CorelDRAW. Pada proses pengambilan data, dapat diketahui fenomena dan mekanisme proses terjadinya busur api listrik pada tegangan rendah.

Bab keempat akan dibahas mengenai analisis data dari hasil eksperimen. Dari hasil analisis tersebut dapat dibuat suatu kesimpulan mengenai perbedaan pengaruh jumlah serabut konduktor kabel terhadap karakteristik arus, tegangan, durasi busur api, suhu maksimum busur api, waktu peluruhan busur api, dan lebar percikan busur api.

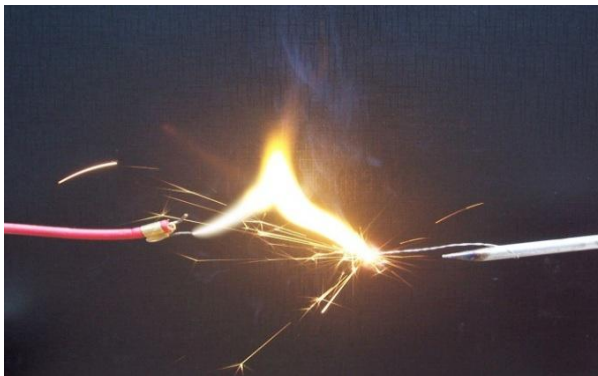
Bab kelima merupakan penutup dari eksperimen. Bab lima berisikan kesimpulan dari hasil eksperimen yang telah dilakukan dan juga berisi saran-saran. Kesimpulan diambil melalui pengamatan parameter-parameter yang mengalami perubahan akibat suatu perlakuan.

BAB II

BUSUR API LISTRIK PADA TEGANGAN RENDAH

2.1 Fenomena Busur Api Listrik (*Arc Flash*)

Percikan, intensitas panas yang tinggi, dan partikel pembakaran dihasilkan dari proses terjadinya *arc flash*. Ketika dua permukaan konduktif mendekat secara bersamaan dan diikuti lompatan arus yang melewati sela antara konduktor akan terjadi hubung singkat diikuti oleh percikan listrik karena nilai yang cukup dan udara disekitar menjadi konduktif akibat ionisasi yang terjaga dengan baik selanjutnya akan menimbulkan busur api listrik [1]. Hubung singkat menyebabkan kabel terbakar atau juga bisa terjadi *arc flash*, karena pelonjakan arus listrik disertai kenaikan suhu secara drastis pada konduktor dan pada akhirnya kabel tidak mampu menopang nilai arus yang lewat, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Busur api listrik akibat hubung singkat langsung pada kabel (sumber: www.orilliahomeinspector.biz)

Arc flash memproduksi plasma hasil ionisasi dari konduktor. Menurut NFPA *arc flash* merupakan sebuah pelepasan energi termal dan cahaya oleh penguapan dan ionisasi dari sebuah material, yang dapat mencapai suhu sampai 35.000°F [2]. Jika *arc flash* terpapar pada kulit akan menimbulkan bahaya yaitu luka bakar. Kebakaran dapat dipicu jika lelehan logam yang tersebar akibat *arc flash* ini mengalami kontak dengan benda yang mudah terbakar, seperti kain tekstil, kertas pada tempat, situasi, dan waktu yang tidak dikehendaki yang bersifat

merugikan dan pada umumnya sulit untuk dikendalikan. *Arc flash* akan lebih berbahaya jika kontak dengan bahan yang dapat menimbulkan ledakan yang mengancam nyawa disekitarnya.

2.2 Busur Api Listrik pada Kabel Tegangan Rendah

Pada tegangan rendah, secara umum kabel yang digunakan terbuat dari tembaga dan aluminium. Dari kabel tembaga dan aluminium ini dapat diklasifikasikan lagi menjadi kabel konduktor jenis serabut dan kabel konduktor tunggal. Harga kabel konduktor serabut relatif lebih murah dan banyak digunakan daripada kabel konduktor tunggal. Namun rata-rata kabel mengalami kerusakan isolasi baik secara internal maupun eksternal. Kegagalan isolasi pada kabel menyebabkan terjadinya hubungan singkat karena arus dalam kabel terhantar keluar dari isolasinya. Penyebab kerusakan pada kabel biasanya akibat penuaan (aging), gangguan eksternal seperti gigitan hewan pengerat contohnya tikus, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.2., atau juga pemanasan berlebih, seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.3.



Gambar 2.2 Kabel listrik yang mengalami kerusakan isolasi akibat gigitan tikus (sumber: mybelor.wordpress.com)

Kabel ialah penghantar logam yang dilindungi dengan isolasi. Bila jumlah penghantar logam tadi lebih dari satu maka keseluruhan kabel yang berisolasi tadi dilengkapi lagi dengan selubung pelindung. Contohnya kabel listrik yang dipakai di rumah. Bila kabel tersebut dikupas maka akan kelihatan sebuah selubung (biasanya berwarna putih)

yang membungkus beberapa inti kabel yang terisolasi (2 atau 3 inti) dimana masing-masing inti memiliki warna isolasi yang berbeda.

Peralatan listrik yang sering mengalami kerusakan isolasi adalah kabel. Kabel memiliki potensi terjadinya busur api listrik pada tegangan rendah, karena gangguan impedansi tinggi yang tidak dapat dideteksi oleh perangkat pengaman, dapat terjadi akibat pengaruh media saluran maupun media hubung singkat.



Gambar 2.3 Kabel listrik yang mengalami kerusakan isolasi akibat pemanasan (sumber: www.shutterstock.com)

Setiap jenis kabel memiliki spesifikasi Kuat Hantar Arus (KHA) yaitu arus nominal yang dapat dihantarkan pada kabel. Spesifikasi KHA pada kabel juga bergantung pada luas penampang kabel. Kabel konduktor yang digunakan pada perangkat tegangan rendah biasanya jenis serabut dan ukuran penampang kabel konduktor memiliki ukuran penampang yang bermacam-macam. Kabel 1.5 mm^2 biasanya paling sering digunakan dan dipasang pada area perumahan atau permukiman. Kabel serabut 1.5 mm^2 memiliki KHA nominal sebesar 10A. Artinya, kabel 1.5 mm^2 mampu menghantarkan arus sampai dengan 10A [3]. Jika kabel dialiri arus nominal lebih dari KHA nominal dalam waktu tertentu, maka kabel bisa mengalami kerusakan seperti kabel mengalami pemanasan, melelehnya isolasi, atau bahkan melelehnya konduktor.

Arus listrik yang melebihi KHA dari suatu kabel akan menyebabkan kabel tersebut menjadi panas dan bila melebihi daya tahan isolasinya, maka dapat menyebabkan rusaknya isolasi. Kerusakan isolasi bisa menyebabkan kebocoran arus listrik dan akibatnya bisa fatal seperti

kesetrum pada manusia atau bahkan mengakibatkan terjadinya kebakaran.

Faktor lain dalam menentukan pemilihan kabel dengan KHA-nya adalah mengenai peningkatan kebutuhan daya listrik di masa depan. Bila dalam beberapa tahun ke depan ternyata ada penambahan daya listrik langganan PLN, tentu lebih baik sedari awal dipersiapkan kabel dengan ukuran yang sedikit lebih besar untuk mengakomodasi peningkatan kebutuhan daya listrik ini sehingga menghindari pekerjaan penggantian kabel. Tetapi perlu diperhatikan juga bila umur kabel ternyata sudah melewati 10 tahun. Pada kasus ini, pemeriksaan kondisi kabel dengan lebih teliti sebaiknya dilakukan untuk memastikan kabel masih dalam kondisi baik.

2.3 Akibat yang Ditimbulkan Busur Api Listrik

Kasus kebakaran yang terjadi karena adanya hubung singkat yang diikuti dengan peristiwa busur api listrik dalam kurun waktu 2011 sampai dengan 2015, lebih dari 65% [4]. Umumnya kebakaran terjadi di pemukiman padat penduduk yang rentan terjadi korsleting listrik (hubung singkat listrik) karena instalasi listrik yang cenderung tertata tidak rapi dan kemungkinan terjadi hubung singkat sangat tinggi. Instalasi yang rumit dan tidak rapi dan impedansi saluran yang tinggi dapat menyebabkan gangguan tidak terdeteksi oleh perangkat pengaman listrik. Sambungan kabel berlebihan seperti Gambar 2.4 dapat menjadi pemicu terjadinya arus lebih yang menyebabkan busur api listrik.



Gambar 2.4 Sambungan kabel berlebihan (sumber: kaskushootthreads.blogspot.co.id)

Indonesia dikenal memiliki permukiman padat penduduk. Perlindungan peralatan listrik seperti Sekering atau MCB selama beberapa dekade digunakan untuk meningkatkan keamanan instalasi listrik. Sekering atau MCB melindungi peralatan listrik dari *overload* dan hubung singkat, sehingga mengurangi beberapa kerusakan terhadap peralatan listrik yang menyebabkan terjadinya kebakaran.

Nilai arus yang besar ketika terjadi busur api listrik ternyata tidak bisa membuat perangkat pengaman listrik konvensional seperti MCB (*Miniature Circuit Breaker*) atau Sekering Otomatis (*Automatic Fuse*) pada perumahan dan pemukiman memutus rangkaian utama. Hal ini dikarenakan durasi terjadinya hubung singkat tidak cukup untuk membuat peralatan pengaman trip [5]. Busur api listrik menghasilkan panas berlebih yang apabila terjadi secara berkelanjutan akan menimbulkan kebakaran. Biasanya pada permukiman padat penduduk, pemasangan kontak yang kurang rapat dapat menyebabkan stop kontak terbakar seperti pada Gambar 2.5.



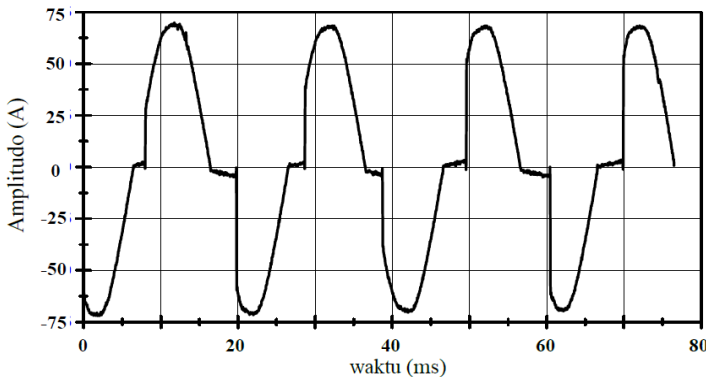
Gambar 2.5 Stop kontak yang terbakar akibat pemasangan kontak yang kurang rapat (sumber: www.ideonline.co.id)

Dalam beberapa kasus hubung singkat, arus hubung singkat ternyata tidak menimbulkan putusnya fuse atau terbukanya breaker. Smoak dan Keeth [6] melakukan eksperimen hubung singkat pada trafo 50 kVA dan 167 kVA dengan rating tegangan 240V. Hasilnya adalah hubung singkat *non-bolted* dengan panjang *arc* yang bervariasi tidak menyebabkan meleburnya fuse, atau pengaman arus tidak bekerja.

2.4 Karakteristik Busur Api Listrik pada Beban Resistif

Karakteristik busur api listrik pada beban resistif telah diteliti sebelumnya. Karakteristik tersebut meliputi arus, tegangan, energi dan durasi. Beberapa karakteristik umum arus busur api listrik pada beban resistif yang telah diidentifikasi antara lain [7]:

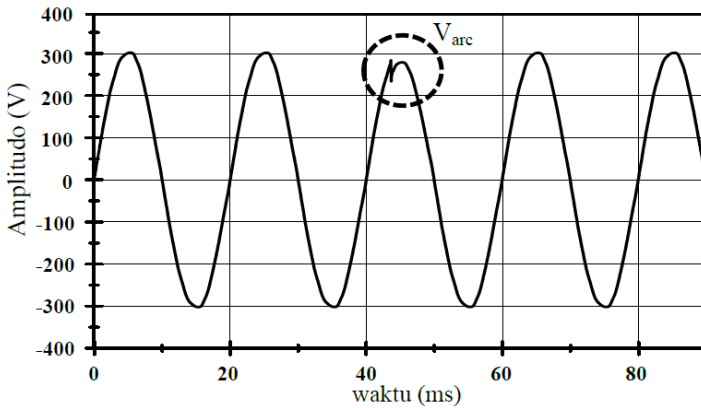
1. Di setiap setengah cycle, arus memiliki dua nilai yaitu tidak bernilai (seolah-olah bernilai nol) dan bernilai, begitu seterusnya setiap setengah cycle. Karakter ini hampir sama dengan rangkaian thyristor yang penyalanya diatur seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.6.
2. Laju kenaikan dan maksimum (*max*) arus biasanya selalu lebih besar dibanding arus beban normal.
3. Busur api listrik bukanlah fenomena dengan bentuk gelombang stasioner, segmen arusnya dapat berdampingan dengan segmen aliran arus normal.



Gambar 2.6 Karakteristik arus busur api listrik seri pada beban resistif

4. Muncul *noise* frekuensi tinggi pada arus busur api listrik (dari 10kHz sampai dengan 1GHz)
5. Pada busur api listrik seri (*series arcing fault*), arusnya lebih kecil dibanding arus non-gangguan pada rangkaian yang sama
6. Sedangkan pada busur api listrik paralel (*parallel arcing fault*), arusnya meningkat secara signifikan. Arus busur api lebih besar dibanding arus normal.

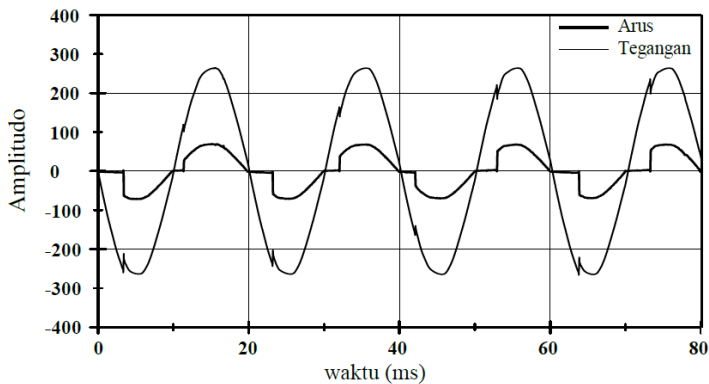
Sedangkan karakteristik tegangan pada saat terjadi busur api listrik dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Karakteristik tegangan saat terjadi busur api listrik setengah *cycle* pada beban resistif

Beberapa karakteristik tegangan berdasarkan penelitian [8]:

1. Nilai tegangan turun pada saat terjadi busur api listrik dan terdapat sedikit cacat pada tegangannya.
2. Tegangan akan konstan (bentuk dan nilainya) selama busur api listrik berlangsung.
3. Bentuk gelombang (*waveform*) tegangan dan arusnya memiliki polaritas yang sama seperti pada Gambar 2.8

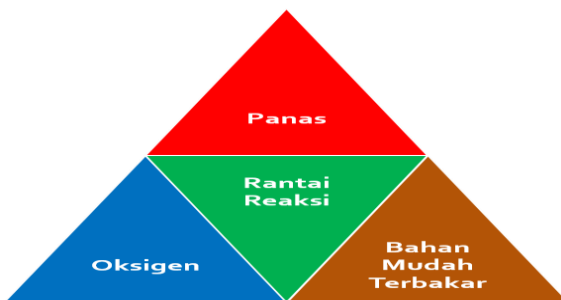


Gambar 2.8 Tegangan dan arus saat terjadi busur api listrik

Sedangkan untuk karakteristik energi besarnya tergantung pada arus dan waktu. Semakin besar arus dan durasi busur api listrik, energi yang dikonsumsi akan semakin besar. Selanjutnya, arus yang nilainya besar akan menyebabkan frekuensi terjadinya busur api listrik lebih banyak sehingga total energi yang dikonsumsi akan semakin lebih besar [9].

2.5 Proses Terbentuknya Api

Api merupakan bencana yang mengancam setiap manusia. Api dapat menyebabkan kebakaran yang besar apabila terjadi di pemukiman padat penduduk. Sumber potensi penyebab kebakaran secara umum yaitu peralatan listrik yang tidak memenuhi syarat keamanan (PUIL), pembebanan lebih, tegangan melebihi kapasitas, dan munculnya bunga api. Nyala api pada hakekatnya masa zat yang sedang berpijar yang dihasilkan didalam proses kimia oksidasi yang berlangsung secara cepat dan disertai pelepasan energi atau panas. Ada tiga unsur yang menyebabkan terbentuknya api yaitu oksigen, panas, dan bahan bakar [10]. Ketiga unsur ini disebut dengan segitiga api ditunjukkan oleh Gambar 2.9



Gambar 2.9 Segitiga api (sumber: www.sistemmanajemenkeselamatankerja.blogspot.co.id)

1. Oksigen

Sumber oksigen adalah dari udara, dimana dibutuhkan paling sedikit sekitar 15% volume oksigen dalam udara agar terjadi pembakaran. Udara normal di dalam atmosfer kita mengandung 21% volume oksigen. Ada beberapa bahan bakar yang mempunyai cukup banyak kandungan oksigen yang dapat mendukung terjadinya pembakaran

2. Panas

Sumber panas diperlukan untuk mencapai suhu penyalan sehingga dapat mendukung terjadinya kebakaran. Sumber panas antara lain: panas matahari, permukaan yang panas, nyala terbuka, gesekan, reaksi kimia eksotermis, energi listrik, percikan api listrik, api las / potong, gas yang dikompresi

3. Bahan bakar

Bahan bakar adalah semua benda yang dapat mendukung terjadinya pembakaran. Ada tiga wujud bahan bakar, yaitu padat, cair dan gas. Untuk benda padat dan cair dibutuhkan panas pendahuluan untuk mengubah seluruh atau sebagian darinya, ke bentuk gas agar dapat mendukung terjadinya pembakaran.

Beberapa jenis bahan bakar sebagai berikut:

a) Benda Padat

Bahan bakar padat yang terbakar akan meninggalkan sisa berupa abu atau arang setelah selesai terbakar. Contohnya: kayu, batu bara, plastik, gula, lemak, kertas, kulit dan lain-lainnya.

b) Benda Cair

Bahan bakar cair contohnya: bensin, cat, minyak tanah, pernis, turpentine, lacquer, alkohol, olive oil, dan lainnya.

c) Benda Gas

Bahan bakar gas contohnya: gas alam, asetilen, propan, karbon monoksida, butan, dan lain-lainnya.

Umumnya semua benda di alam ini dapat dibakar. Diantara bahan-bahan tersebut ada yang mudah terbakar. Hal tersebut dibedakan dengan menggunakan istilah yang disebut titik nyala yaitu suatu temperatur terendah dari suatu bahan untuk dapat diubah bentuk menjadi uap, dan akan menyala bila tersentuh api (menyala sekejap), makin rendah titik nyala suatu bahan, maka bahan tersebut akan makin mudah terbakar. Sebaliknya makin tinggi titik nyalanya, maka makin sulit terbakar.

Panas adalah salah satu penyebab timbulnya kebakaran. Dengan adanya panas, maka suatu bahan akan mengalami perubahan temperatur, sehingga akhirnya mencapai titik nyala. Bahan yang telah mencapai titik nyala menjadi mudah sekali terbakar. Dan disebut titik bakar, yaitu suatu temperatur terendah dimana suatu zat atau bahan bakar cukup mengeluarkan uap dan terbakar (menyala terus menerus) bila diberi sumber panas.

Beberapa sifat penting dari bahan bakar:

1. Flammable Range

Adalah besaran angka yang menyatakan batas minimal (LEL) dan batas maksimal (UEL) jumlah perbandingan volume uap bahan bakar di udara, dimana merupakan konsentrasi yang rapat untuk dapat berlangsungnya nyala api atau pembakaran.

Keterangan :

- Lower Explosive Range (LEL) adalah batas minimal konsentrasi uap bahan bakar di udara dimana bila ada sumber api akan terbakar.
- Upper Explosive Limit (UEL) adalah batas konsentrasi maksimal uap bahan bakar di udara dimana bila ada sumber api akan terbakar.
- Explosive Range adalah konsentrasi LEL dan UEL. Pada konsentrasi ini apabila ada sumber nyala akan dapat terbakar atau meledak. Bila konsentrasi uap batas explosive range (kurang atau lebih) sekalipun ada sumber nyala tidak akan terbakar.

Jadi pada konsentrasi uap minyak mentah 1 – 10 %, dilarang mengadakan kegiatan menggunakan api, karena akan terjadi kebakaran. Alat untuk mengukur kadar gas/uap mudah terbakar adalah *Combustible Gas Indicator/Explosimeter*.

2. Titik Nyala (Flash Point)

Adalah suhu terendah yang diperlukan untuk mengubah atau menghasilkan sejumlah uap siap untuk terbakar bila ada sumber nyala. Besaran angka ini dapat digunakan sebagai indikator tingkat resiko bahaya kebakarannya. Menurut Peraturan Khusus EE : Bahwa setiap bahan cair yang mempunyai angka titik nyala/flash point kurang dari 55°C adalah termasuk bahan mudah terbakar.

Menurut NFPA diklasifikasikan sbb :

Klas 1 = Kurang dari 100°F (resiko tinggi)

Klas 2 = 100 – 140°F (resiko sedang)

Klas 3 = Lebih dari 140°F (resiko rendah)

Bahan bakar cair yang memiliki titik nyala dibawah 78°F (22,8°C) dan memiliki titik bakar pada atau diatas 100°F (37,8°C) diantaranya aseton, benzena, dan bensin [11].

3. Titik Bakar (Fire Point)

Titik bakar adalah suhu saat api akan hidup terus-menerus dari bahan bakar yang telah dikenai sumber panas (kira-kira 30°C - 40°C lebih tinggi dari titik nyala).

Contoh:

- Bensin = 50 °C
- Kerosin = 40 °C - 70 °C
- Parafin = 30 °C

4. Autoignition Temperature

Adalah temperatur terendah dimana bahan akan terbakar dengan sendirinya tanpa diberi sumber nyala.

3. Berat Uap

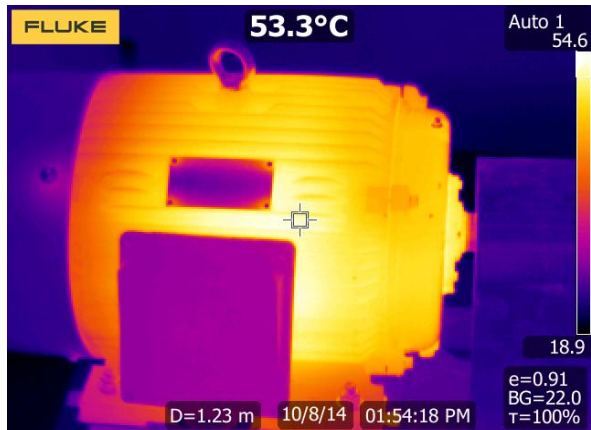
Berat uap bahan bakar juga merupakan indikator yang perlu diperhatikan. Uap yang lebih ringan terhadap udara akan cenderung ke atas dan lebih berat dari udara akan ke bawah. Dengan mengetahui berat uap bahan bakar, maka dapat ditentukan dimana exhaust fan harus ditempatkan.

Percikan *arc flash* memiliki resiko yang menyebabkan terbentuknya api dan mengakibatkan terjadinya kebakaran karena gesekan panas secara terus – menerus sesuai indeks suhu minimum penyalaaan. Akan berakibat fatal apabila terkena bahan yang mudah terbakar. Memiliki resiko sangat tinggi menyebabkan terjadinya kebakaran.

2.6 Penginderaan Termal Busur Api Listrik

Suhu dari *arc flash* dapat mencapai 35.000°F yang berbahaya apabila terkena kulit secara langsung dan benda – benda yang mudah terbakar yang dapat menimbulkan bencana kebakaran. Penginderaan termal ini menggunakan radiasi inframerah yang artinya tidak dapat dilihat oleh mata telanjang. Untuk melakukan penginderaan citra termal *arc* ini, maka dibutuhkan piranti perekam citra termal yang mampu merekam fenomena *arc*. Pencitraan termal atau yang disebut dengan *thermography*, adalah teknik menghasilkan gambar dari radiasi inframerah, dapat dikatakan tidak dapat dilihat oleh mata manusia. Kamera termal memiliki sensor yang berfungsi untuk menangkap pancaran atau pantulan radiasi termal dari objek. Gambar termal yang dihasilkan oleh kamera ini disebut sebagai *thermograms*, dimana setiap

piksel gambar sesuai dengan nilai digital dan sebanding dengan jumlah energi yang diterima [12]. Gambar 2.10 menunjukkan contoh hasil jepretan dari kamera termal.



Gambar 2.10 Contoh hasil jepretan dari kamera termal
(sumber: www.electronic.testoon.com)

Kamera termografi Inframerah terdiri dari bagian detektor yang berfungsi menangkap gelombang radiasi panas yang datang melalui fokus lensa optik. Melalui sistem prosesiing sinyal digital diterjemahkan menjadi sebuah gambar termal distribusi warna dan temperatur terukur. Intensitas radiasi yang diterima sangat bergantung kepada kondisi permukaan obyek dan lingkungan di sekeliling obyek. Dalam pengukuran panas radiasi termal ini terdapat beberapa faktor yang menjadi data dalam pengukuran yaitu jarak objek kamera, temperatur dan kelembabpan udara lingkungan, temperatur refleksi lingkungan, dan emisivitas permukaan objek

Kamera termal rata-rata memiliki kecepatan merekam 60 fps. Kamera termal tidak dapat mendeteksi suhu apabila ada objek yang menghalangi seperti kaca, *acrylic*, dan lain sebagainya. Suhu yang dapat direkam oleh kamera termal sangat akurat tetapi dalam eksperimen ini *arcng* yang terjadi sangat cepat apabila suhu maksimum diatas 85°C , maka akan tertulis $>85^{\circ}\text{C}$. Agar mendapatkan gambar yang bagus digunakan IR (*infrared*) kamera tipe minimum untuk mengetahui suhu

maksimum pada kondisi nyata saat terjadi *arc flash*, waktu peluruhan suhu *arc flash*, dan luas dari *arc flash*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

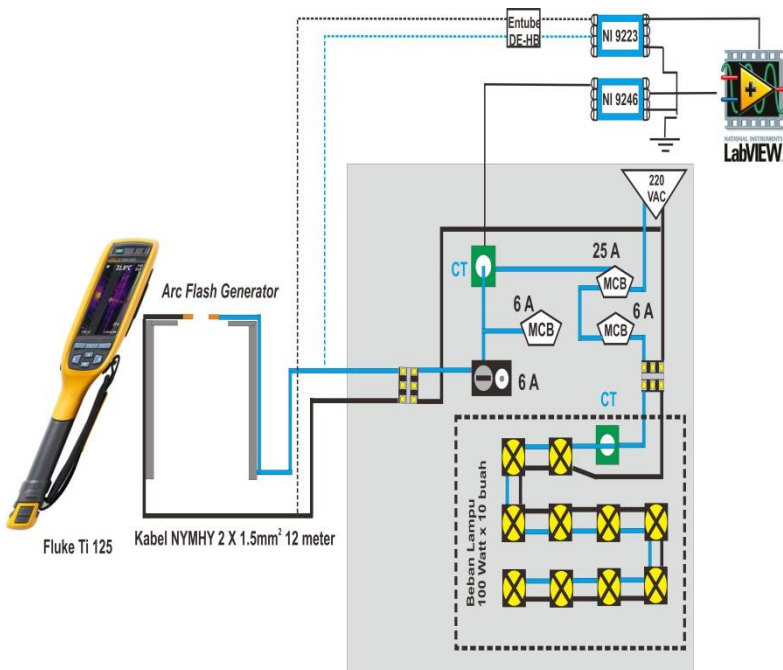
BAB III

PERANCANGAN ALAT EKSPERIMEN, PENGAMBILAN DAN PENGOLAHAN DATA

Dalam bab ini akan dijelaskan mengenai perancangan alat eksperimen busur api listrik pada tegangan rendah, proses pengambilan dan pengolahan data busur api listrik.

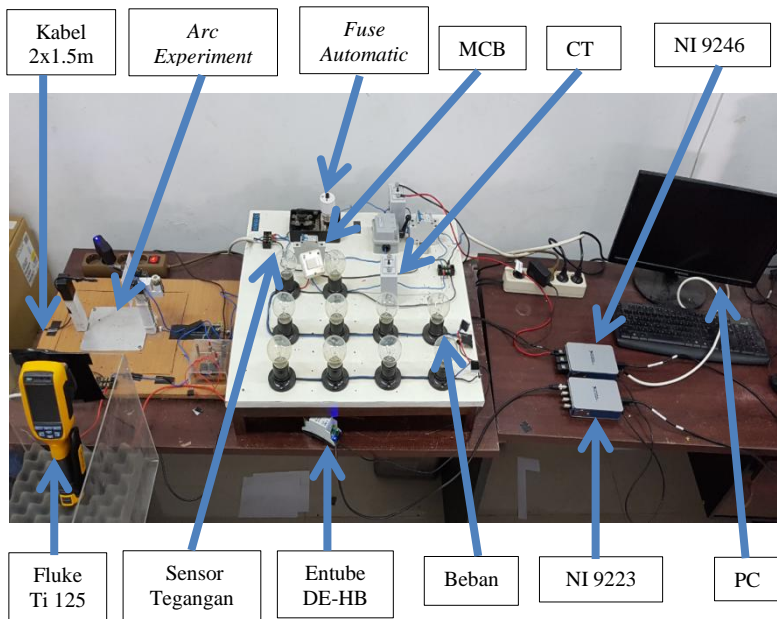
3.1 Perancangan Alat Eksperimen

Pada pengerjaan tugas akhir ini diperlukan alat eksperimen untuk memodelkan fenomena terjadinya busur api listrik secara langsung pada kabel tegangan rendah. Skema rangkaian alat eksperimen ditunjukkan oleh Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Skema rangkaian alat eksperimen busur api listrik pada tegangan rendah

Rangkaian eksperimen busur api listrik terdiri dari *hardware* dan *software*. *Hardware* yang digunakan adalah sekering otomatis (*fuse*) 6A, *fuse box*, *current transformer* (CT) 200/5 A, kabel tembaga serabut 1 fasa ukuran penampang 1,5 mm² (kabel NYMHY 2x1,5mm²), beban resistif berupa lampu 100 watt sebanyak 10 buah, *arc chamber* yang terbuat dari akrilik, Fluke Ti 125 sebagai perekam citra termal bunga api, NI 9246 sebagai perekam arus, dan NI 9223 sebagai perekam tegangan dengan bantuan sensor tegangan Verivolt Entube DE-HB. Sedangkan *software* yang mendukung alat eksperimen ini adalah *software* LabVIEW yang telah disinkronkan dengan fitur *DAQ Assist*, untuk *human interface* sekaligus sebagai akuisisi data saat proses pengambilan data berlangsung. Realisasi alat eksperimen ditunjukkan oleh Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Realisasi alat eksperimen busur api listrik pada tegangan rendah

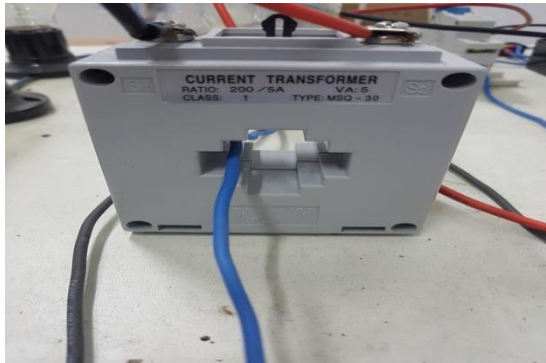
3.1.1 *Current Transformer (CT)*

Trafo arus (*current transformer/CT*) pada alat eksperimen ini digunakan sebagai perantara pengukuran arus untuk mengubah skala arus listrik pada saat pengukuran arus. Pada eksperimen ini diperkirakan arus busur api listrik nilainya berada di atas nilai maksimal, dibutuhkan skala dalam ampere yang lebih kecil disisi sekunder karena pada saat pengambilan data berlangsung, diperkirakan arus busur api listrik nilainya berada di atas nilai maksimal masukan arus pada alat akuisisi data (NI 9246). CT yang digunakan merupakan CT untuk pengukuran, ditunjukkan oleh Gambar 3.4. CT umumnya selain digunakan sebagai media pembacaan juga digunakan dalam sistem proteksi sistem tenaga listrik. Sistem proteksi dalam sistem tenaga listrik sangatlah kompleks sehingga CT itu sendiri dibuat dengan spesifikasi dan kelas yang bervariasi sesuai dengan kebutuhan sistem yang ada. Berikut ini spesifikasi CT yang digunakan dalam eksperimen ini:

Tabel 3.1 Spesifikasi *Current Transformer (CT)*

Jenis CT	Powell MSQ-30
Rasio CT	200/5
Class CT	1
Burden CT	5
Range Frekuensi	50-60 Hz

Spesifikasi rasio CT merupakan spesifikasi dasar yang harus ada pada CT. CT dengan rasio primer/sekunder : 200/5A berarti CT harus mengeluarkan nilai sebesar 5A pada sisi sekundernya apabila sisi primer trafo dialiri arus sebesar 200A (besar kecil tegangan primer tidak mempengaruhi arus CT). Setiap CT mempunyai akurasi kelas kesalahan pembacaan (%error) yang berbeda-beda. Semakin kecil nilai kesalahan pembacaan (%error) CT maka semakin baik kelas akurasi CT. Nilai *class* CT menunjukkan tingkat akurasi yang dimiliki CT. CT dengan *class* 1 berarti CT tersebut memiliki tingkat kesalahan sebesar 1%. Burden atau nilai maksimum daya (dalam satuan VA) yang dapat ditopang oleh CT. Nilai daya ini harus lebih besar dari nilai yang terukur dari terminal sekunder CT. Burden juga menunjukkan kemampuan CT terhadap nilai impedansi tertentu. Berdasarkan standard IEC 60044-1 (BSEN 60044-1) burden CT memiliki nilai 1,5 VA; 3VA; 5VA.



Gambar 3.3 *Current Transformer (CT)*

3.1.2 Automatic Fuse (Sekering Otomatis) dan Fuse Box

Automatic Fuse pada alat eksperimen ini digunakan untuk mencegah kerusakan pada peralatan listrik akibat arus listrik yang besar pada saat pengambilan data dilakukan. Sekering otomatis berbeda dengan sekering biasa yang apabila terjadi hubung singkat akan putus dan harus diganti dengan yang baru. Sekering otomatis bekerja dengan bimetal dan memiliki tombol reset. *Fuse* yang digunakan dalam eksperimen ini *fuse* SNI bright-G 6A 220/380V (IEC 60898), beserta *fuse box* standar yang mudah dibeli di toko listrik kecil maupun besar. *Automatic fuse* dan *fuse box* ditunjukkan oleh Gambar 3.3.



Gambar 3.4 *Automatic Fuse dan Fuse Box*

3.1.3 NI 9246 dan NI 9223

NI 9246 dan NI 9223 adalah produk dari National Instruments yang merupakan *Compact DAQ(cDAQ)* atau *Analogue Input Module* yang digunakan sebagai akuisisi data. NI 9246 digunakan untuk merekam arus *arcing* sedangkan NI 9223 digunakan untuk merekam tegangan *arcing* yang nantinya dari tegangan dan arus yang terekam akan disinkronisasikan dengan citra termal bunga api yang terekam oleh Fluke Ti 125. NI 9246 dan NI 9223 dalam eksperimen ini dihubungkan ke PC dengan menjalankan program LabVIEW. NI 9246 dilengkapi dengan 3 input analog terisolasi, dengan *sample rate* secara simultan sebesar 50 kHz tiap channel . NI 9223 dilengkapi dengan 4 input analog, dengan *sample rate* sebesar 1 MHz. NI 9246 dan NI 9223 ditunjukkan oleh Gambar 3.5. Spesifikasi NI 9246 dan NI 9223 dapat dilihat pada tabel 3.2.



Gambar 3.5 NI 9246 dan NI 9223

Tabel 3.2 Spesifikasi NI 9223 dan NI 9246

NI 9223	
Range Tegangan Input	+/- 10 V
Impedansi Input	>1 GΩ
Sample Rate	1 MHz
NI 9246	
Range Arus Input	+/- 20 A
Sample Rate	50 kHz

3.1.4 Verivolt Entube DE-HB

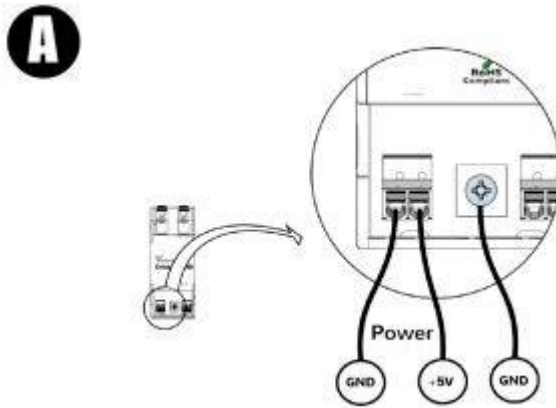
Dalam eksperimen ini diperlukan suatu alat yang digunakan untuk merekam data tegangan. Verivolt Entube DE-HB merupakan sensor tegangan dengan spesifikasi masukan tegangan maksimal hingga $\pm 1500\text{V}$, dan tegangan output $\pm 1\text{V}$ sampai $\pm 10\text{V}$. Sensor tegangan sangat mudah digunakan dan tidak memerlukan komponen tambahan. Verivolt Entube DE-HB dirancang untuk memungkinkan pengukuran sinyal tegangan tinggi di industri dan untuk penelitian. Antar muka dalam penggunaan DAQ memerlukan impedansi masukan yang tinggi. Dalam kasus ini, pengukuran tegangan menggunakan probe tegangan konvensional tidak memungkinkan untuk melakukan pengukuran dan perekaman data tegangan. Agar data tegangan bisa terbaca dan terukur maka Verivolt Entube DE-HB dihubungkan dengan NI 9223. Verivolt Entube DE-HB ditunjukkan oleh Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Verivolt Entube DE-HB

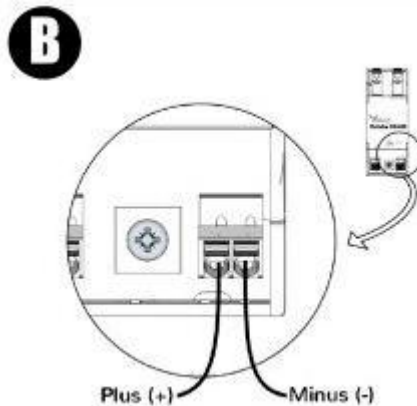
Konfigurasi hardware pada Verivolt Entube DE-HB:

- a) Sensor *ground* dihubungkan dengan kabel pentanahan. Disebelah kiri dari sensor *ground* terdapat dua konektor sumber yang terdiri dari konektor *ground* dan inputan sumber. Selanjutnya dihubungkan dengan sumber eksternal sebesar 5V. Dapat dilihat pada Gambar 3.7.



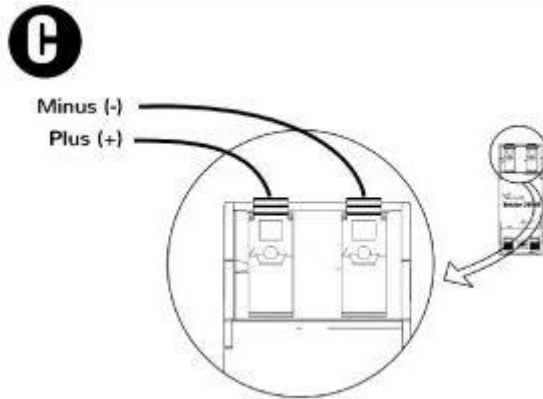
Gambar 3.7 Konfigurasi Verivolt Entube DE-HB (a)

- b) Masukkan sepasang kabel pada masing-masing konektor dan sesuai dengan input arus pada DAQ. Polaritas dari sinyal keluaran harus sesuai dengan sinyal input. Ditunjukkan oleh Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Konfigurasi Verivolt Entube DE-HB (b)

- c) Pada sisi primer hubungkan kabel sesuai tanda positif dan negatif. Gunakan sepasang kabel yang sesuai standar. Ditunjukkan oleh Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Konfigurasi Verivolt Entube DE-HB (c)

3.1.5 Kabel NYMHY 2x1,5mm²

Kabel pada tegangan rendah merupakan komponen yang sangat rentan terhadap kerusakan isolasi karena pemanasan dan gangguan hewan seperti tikus yang kerap memicu terjadinya hubungan singkat yang berakhir pada peristiwa kebakaran di rumah maupun pasar karena pengamanan konvensional tidak dapat mendeteksi gangguan yang sangat cepat.

Eksperimen dalam tugas akhir ini menggunakan kabel NYMHY 2x1.5mm². Panjang kabel yang digunakan dalam eksperimen ini sebesar 12 meter. Kabel NYMHY 2x1.5mm² merupakan kabel tembaga dengan konduktor serabut 1 fasa dengan luas penampang 1,5mm² yang umumnya digunakan untuk instalasi rumah. Sifat dari kabel NYMHY ini fleksibel (*flexible wire*), serta tidak mudah patah. Isolasi luar dan dalam pada kabel NYMHY menggunakan PVC. Kabel serabut 1,5mm² memiliki arus nominal sebesar 10A. Rata-rata kabel serabut 1,5mm² digunakan pada sistem instalasi khususnya permukiman penduduk dan pasar tradisional dengan daya terpasang sebesar 900 VA maupun 1300 VA. Kabel NYMHY 1.5mm² ditunjukkan oleh Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Kabel Serabut NYMHY 1.5mm²

Spesifikasi dari kabel NYMHY sama dengan kabel NYM yang membedakan adalah Cu atau tembaga dari kabel NYMHY adalah serabut sedangkan kabel NYM Cu atau tembaga tunggal atau solid. Kekurangan kabel NYMHY yaitu karena serabut, daya hantar listriknya lebih kecil daripada kabel tembaga tunggal bergantung dari diameter. Kabel NYMHY tidak dapat digunakan secara permanen, apabila dipaksakan digunakan secara permanen memiliki resiko digigit binatang pengerat atau tikus. Tabel 3.3 menunjukkan karakteristik kelistrikan kabel NYMHY.

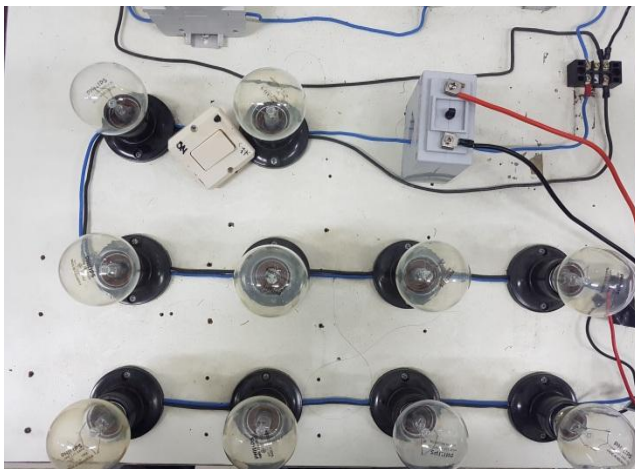
Tabel 3.3 Karakteristik Kelistrikan Kabel NYMHY

Inti	Ukuran (mm ²)	Tes	Arus Hubung Singkat	Resistansi pada 20°C	
				Penghantar (ohm/km)	Penyekat (mohm.km)
		kV / 5 min	kA		
2	0.75	2	0.09	26	58
	1	2	0.12	19.5	53
	1.5	2	0.17	13.3	50
	2.5	2	0.29	7.98	46
3	0.75	2	0.09	26	58
	1	2	0.12	19.5	53
	1.5	2	0.17	13.3	50
	2.5	2	0.29	7.98	46

3.1.6 Beban Lampu 1000 Watt

Dalam rumah tangga banyak sekali beban yang digunakan. Beban resistif dihasilkan oleh alat-alat listrik yang bersifat murni tahanan (resistor) seperti pada elemen pemanas dan lampu pijar. Beban resistif ini memiliki sifat yang "pasif", artinya beban resistif tidak mampu memproduksi energi listrik, dan justru menjadi konsumen energi listrik. Resistor bersifat menghalangi aliran elektron yang melewatinya (dengan jalan menurunkan tegangan listrik yang mengalir), sehingga mengakibatkan terkonversinya energi listrik menjadi panas. Dengan sifat demikian, resistor tidak akan merubah sifat-sifat listrik AC yang mengalirinya. Gelombang arus dan tegangan listrik yang melewati resistor akan selalu bersamaan membentuk bukit dan lembah. Dengan kata lain, beban resistif tidak akan menggeser posisi gelombang arus maupun tegangan listrik AC.

Pada eksperimen ini alat yang digunakan untuk pengambilan data busur api listrik menggunakan beban resistif yang terdiri dari bola lampu 100 watt sebanyak 10 buah. Dipilih beban 1000 watt, karena eksperimen ini dibuat natural mendekati realita seperti di lapangan. Daya yang terpasang pada pemukiman dan pasar tradisional rata-rata sebesar 1300 VA dan 2200 VA. Jika dijumlahkan beban total sebesar 1000 watt seperti pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Beban Lampu 1000 Watt

3.1.7 Fluke Thermal Imager Camera Ti 125

Fenomena keabnormalan kinerja suatu sistem dapat diketahui melalui parameter temperatur kerja yang terjadi. Temperatur memegang peranan yang cukup penting untuk mendeteksi terjadinya sebuah gangguan atau ketidaknormalan kerja sistem. Fenomena ini dengan mudah dapat dideteksi melalui pengamatan dengan Termografi Inframerah dengan mengamati distribusi panas yang terjadi pada sebuah gambar termal (*thermograms*) melalui beberapa parameter analisa guna prediksi atau analisa lanjut.

Fluke Ti 125 merupakan kamera termal produk dari Fluke. Kamera termal ini nantinya digunakan untuk merekam citra bergerak dari busur api yang terjadi pada *arc chamber*. Resolusi sangat penting untuk menghasilkan gambar termal yang halus. Fluke Ti 125 memiliki kecepatan perekaman sebesar 60 fps dan dapat menghasilkan gambar yang jelas dengan resolusi 160 x 120 piksel. Dari hasil perekaman menggunakan Fluke Ti 125 ini, akan dilakukan *frame extraction* untuk mendapatkan data citra termal per frame yang nantinya akan disinkronisasikan dengan arus hubung singkat. Fluke Ti 125 ditunjukkan oleh Gambar 3.12.



Gambar 3.12 Fluke Ti 125

Analisa hasil pengukuran *thermal imaging* atau biasa disebut *thermograms* merupakan visualisasi radiasi termal permukaan dalam bentuk distribusi warna temperatur terukur. Gambar yang terukur terdiri dari beberapa titik yang menunjukkan harga temperatur terukur. Dalam analisa *thermograms* terdapat parameter analisis *spot meter* (titik) guna mengetahui suhu lokasi di satu titik tertentu, area (luasan) untuk mengetahui distribusi temperatur pada suatu lingkup area.

3.1.8 Chamber Kamera Akrilik

Untuk melindungi kamera termal dari percikan busur api listrik digunakan bahan akrilik. Akrilik yang digunakan memiliki ketebalan 2 mm. Alasan menggunakan akrilik karena akrilik lebih rendah dalam menyerap panas daripada kaca. Pada saat eksperimen busur api listrik dengan panas berlebih, *chamber* berfungsi untuk melindungi kamera termal agar tidak cepat panas. *Chamber* yang digunakan berukuran panjang sebesar 90 cm, lebar sebesar 30 cm, dan tinggi sebesar 30 cm. Pada bagian tengah akrilik dilubangi sebagai tempat untuk lensa kamera termal Fluke Ti 125 merekam citra termal busur api listrik.

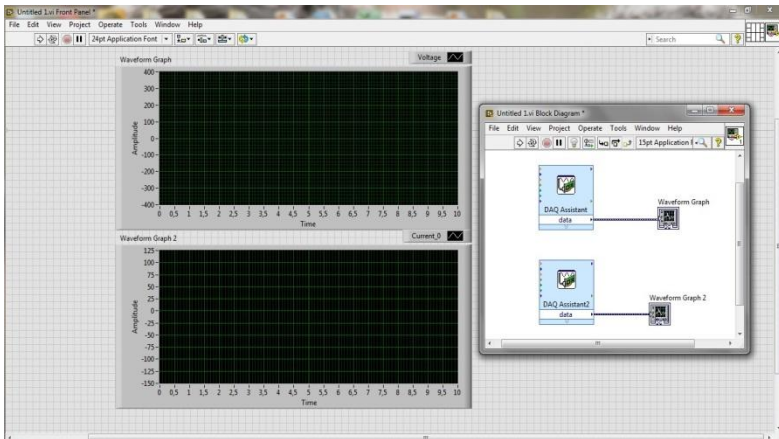
3.2 Pengambilan Data

Proses pengambilan data pada Tugas Akhir ini menghubungkan singkatan kabel dengan variasi jumlah serabut yang nantinya didapatkan fenomena busur api listrik. Selanjutnya dilakukan proses akuisisi data dari proses terjadinya hubung singkat yang terjadi pada *arc experiment*. Pada saat yang bersamaan perekaman dengan kamera termal Fluke Ti 125 dilakukan untuk merekam citra termal dari panas dan kilatan cahaya yang dihasilkan oleh busur api listrik. Kecepatan perekaman sesuai spesifikasi dari kamera termal sebesar 60 fps yang nantinya dari video yang terekam selanjutnya akan dianalisa fenomena termalnya.

3.2.1 Akuisisi Data

Pada eksperimen ini LabVIEW digunakan sebagai instrumentasi virtual untuk membantu dalam sistem pengambilan data dari pengukuran secara otomatis. Instrumentasi visual ini dapat mengendalikan proses pengambilan data melalui perangkat *hardware* eksternal (cDAQ) yang bertindak sebagai akuisisi data.

Software yang digunakan dalam alat eksperimen busur api listrik ini adalah LabVIEW versi 2014. LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench*) adalah *software* yang menggunakan bahasa pemrograman berbasis grafis (non-teks) untuk menciptakan sebuah aplikasi yang diinginkan *user*. LabVIEW mengeksekusi program dengan menjalankan pemrograman secara data *flow*, eksekusi dijalankan berdasarkan alur yang telah dibuat *user*. Dengan bahasa pemrograman grafis / blok diagram di dalamnya, LabVIEW dapat memperoleh data dari instrumen seperti cDAQ, memproses data dan melakukan data logging atau perekaman data dalam file berformat tdms. Hasil pengukuran selanjutnya akan ditampilkan pada *front panel* LabVIEW melalui layar PC komputer seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.13.

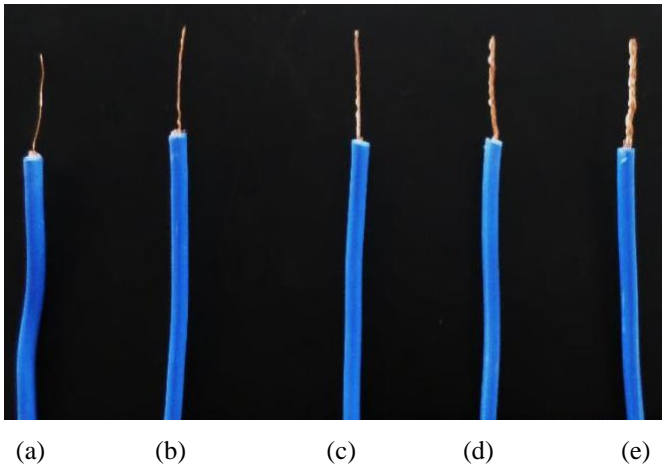


Gambar 3.13 Tampilan *front panel* dan *block diagram* pada LabVIEW untuk eksperimen busur api listrik

Front panel LabVIEW merupakan media tatap muka (*interface*) antara LabVIEW dan *user*. Di dalam LabVIEW digunakan DAQ Assist sebagai aplikasi pemrograman tatap muka (*Application Programming Interface* atau API) dan juga sebagai *driver* yang mengontrol DAQ. *Front panel* LabVIEW yang digunakan dalam eksperimen ini tersusun dari 2 grafik yang menampilkan sinyal arus dan tegangan yang diakuisisi ketika pengukuran berlangsung.

3.2.2 Variasi Jumlah Serabut

Proses pengambilan data pada Tugas Akhir ini memperhatikan jumlah serabut pada kabel yang menjadi objek tempat terjadinya busur api listrik. Percobaan akan dilakukan dengan melakukan variasi jumlah serabut. Variasi serabut yang digunakan adalah 1 serabut, 3 serabut, 6 serabut, 12 serabut, dan 24 serabut, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.14. Masing-masing variasi jumlah serabut akan dilakukan 5 kali percobaan busur api listrik. Secara keseluruhan, maka akan didapat data sebanyak 25 buah. Pengaturan serabut kabel yang akan dihubungkan dengan cara disebar dengan tujuan untuk memaksimalkan bidang kontak saat terjadi *arc*ing. Jika kabel diatur dengan cara dipilin maka hanya ujung-ujung dari serabut saja yang mengalami kontak.



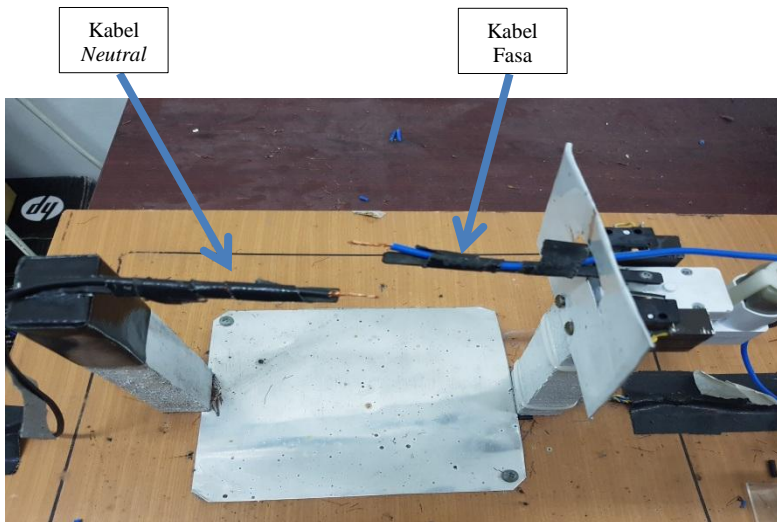
Gambar 3.14 Variasi jumlah serabut kabel untuk eksperimen busur api listrik: (a) serabut 1, (b) serabut 3, (c) serabut 6, (d) serabut 12, dan (e) serabut 24

3.2.3 Perekaman Kamera Termal

Proses pengambilan data pada Tugas Akhir ini melalui eksperimen langsung, yaitu menghubungkan singkatan kabel tegangan rendah yang dipasang secara paralel melalui sumber tegangan yang telah terpasang peralatan pengaman berupa sekering otomatis untuk mencegah terjadinya arus yang tiba-tiba membesar dan mencegah kerusakan pada komponen

peralatan listrik pada saat pengambilan data. Data yang diambil meliputi arus *arcing* dan tegangan *arcing*, dan citra termal bergerak bunga api pada kabel ketika terjadi hubung singkat. Data arus dan tegangan diambil dengan frekuensi 10 kHz, dan data citra bergerak bunga api diambil dengan kecepatan 60 fps.

Pada saat eksperimen, busur api listrik akan dipicu dengan cara menghubungkan singkatakan kabel tegangan rendah menggunakan motor DC kecil sebagai penggerak. Kabel *Neutral* (hitam) berada di sisi kontak statis, dan kabel Fasa (biru) di sisi kontak dinamis. Ketika motor DC digerakkan, maka kabel fasa akan mengalami kontak. Untuk penentuan kabel fasa dan kabel *neutral* sebenarnya sesuai dengan pemasangan kabel pada *arc* eksperimen. Kondisi kabel sebelum mengalami hubung singkat ditunjukkan oleh Gambar 3.15.



Gambar 3.15 Kondisi kabel sebelum mengalami hubung singkat

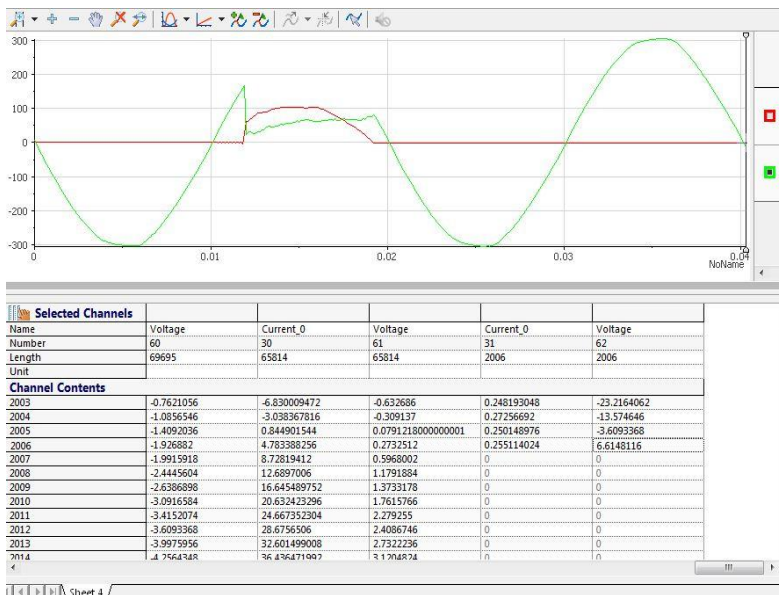
3.3 Pengolahan Data

Arus dan tegangan *arcing* pada saat fenomena busur api listrik terjadi, akan diolah menggunakan software penunjang DIAdem. Citra termal bergerak bunga api akan diolah menggunakan VLC Frame Extractor, sehingga didapatkan data *scene* tiap framenya. Luas daerah dari *arcing* akan diolah dengan cara perhitungan luasan dari suatu

daerah. Sinkronisasi citra termal bunga api dan arus hubung singkat akan diolah menggunakan Microsoft Power Point. Pengolahan data bertujuan untuk memperoleh karakteristik busur api berupa nilai arus maksimum, *fault duration*, *maximum temperature arc flash*, *temperature decay period*, dan luas busur api atau *arc flash area*.

3.3.1 Proses Pemotongan Sinyal

Data keluaran dari proses *data logging* pada alat akuisisi data (*software* LabVIEW) saat eksperimen busur api listrik dilakukan adalah data dalam format '.tdms'. Dalam Tugas Akhir ini, DIAdem merupakan *software* yang membantu dalam pemotongan sinyal yang akan difilter. Pemotongan sinyal perlu dilakukan karena pada saat pengambilan data *sampling* data yang tersimpan terlalu banyak. Data yang terlalu panjang akan berpengaruh pada kecepatan pemrosesan sinyal, oleh karena itu data perlu di potong. Sinyal hasil potongan DIAdem berisi sinyal saat kondisi normal dan sinyal saat terjadinya busur api listrik. Tampilan *software* DIAdem dapat dilihat pada Gambar 3.16.



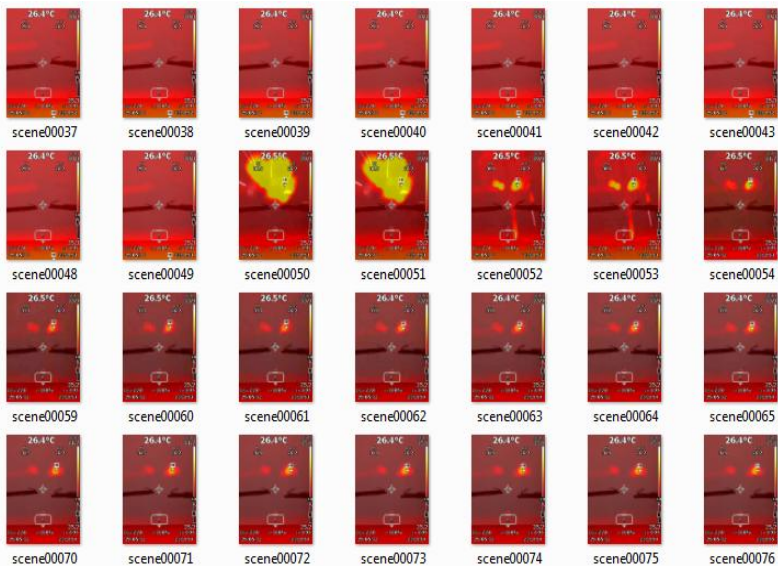
Gambar 3.16 Tampilan *software* DIAdem

Pada DIAdem data dalam format ‘.tdms’ hasil keluaran LabVIEW ditampilkan dalam bentuk sinyal arus (I) dan tegangan (V) yang berisikan nilai amplitudo masing-masing sinyal sampling yang terbagi pada kanal (*channel*) sesuai jumlah sampling saat pengambilan data. Pemotongan sinyal dilakukan dengan cara mengambil nilai dari kanal DIAdem.

3.3.2 Proses Ekstraksi Video

Video yang terdiri dari banyak *frame* nantinya akan diekstrak. Selanjutnya didapatkan output dari pengolahan data yaitu citra termal dari data citra bergerak (video) yang terekam menggunakan kamera termal Fluke Ti 125 ketika proses pengambilan data.

Frame yang didapatkan dari ekstraksi video berjumlah ratusan sesuai spesifikasi dari kamera yang digunakan. Setiap PC atau laptop juga memiliki keterbatasan dalam melakukan proses ekstraksi, karena biasanya setelah dilakukan proses ekstraksi, *frame* yang dihasilkan tidak bisa terbaca semua. Hasil proses ekstraksi video menjadi *frame* ditunjukkan oleh Gambar 3.17.



Gambar 3.17 Hasil proses ekstraksi video menjadi *frame*

3.3.3 Pengukuran Luas Busur Api

Untuk proses pengukuran luas busur api menggunakan analisa pengukuran luas pada suatu daerah atau peta. Percikan busur api listrik yang terekam pada kamera termal Fluke Ti 125 memiliki luasan yang berbeda-beda. Untuk menentukan luasan busur api, pada kotak yang dibuat secara manual digunakan angka 1 dan 1/2. Maksud dari angka 1 dan 1/2, apabila warna dari *arc* memenuhi satu kotak penuh maka diberikan angka 1 dan apabila warna dari *arc* memenuhi kotak hanya setengahnya saja, maka akan diberikan angka 1/2. Selanjutnya setelah pemberian angka akan dihitung jumlah daerah bernilai 1 dan bernilai 1/2. Jumlah total dari kotak bernilai 1 dan bernilai 1/2 merupakan luas dari *arc* yang terdapat pada gambar. Penentuan luas daerah *arc* menggunakan *template* berbentuk persegi berukuran 1mm^2 dibuat secara manual sesuai dengan besar gambar dari *arc*.

3.3.4 Sinkronisasi Citra Termal Bunga Api dengan Arus Hubung Singkat

Pengambilan data menggunakan kamera termal menghasilkan citra termal busur api. Pada proses sinkronisasi terdapat beberapa data yang ditampilkan berhubungan dengan citra termal busur api. Dalam melakukan sinkronisasi data, dibutuhkan suatu antar muka yang menunjukkan antara data arus dan tegangan dengan gambar per frame. Sinkronisasi dilakukan pada program Microsoft Power Point dikarenakan sistem pengambilan gambar terpisah dengan sistem perekaman arus dan tegangan, sehingga diperlukan aplikasi tambahan selain DIAdem untuk mempermudah sinkronisasi.

Dari serangkaian data tersebut, nantinya akan ditentukan karakteristik dari *arc flash* pada kabel tegangan rendah pada kasus hubung singkat langsung. Tampilan sinkronisasi data arus dan tegangan dengan frame hasil ekstraksi video dengan menggunakan fitur *scene filter* pada VLC Player ditunjukkan oleh Gambar 3.18.

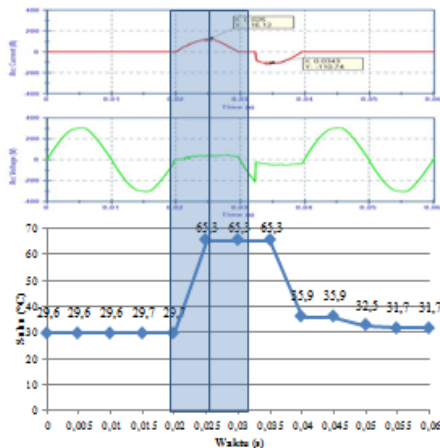
Beberapa data yang ditampilkan dan penjelasan dari masing-masing data yang ditampilkan:

- a. *Arc Flash Maximum Temperature*
Arc Flash Maximum Temperature adalah suhu maksimum dari busur api listrik.
- b. *Arc Flash Area*
Arc Flash Area merupakan luas area dari busur api listrik.

- c. *Temperature Decay Period*
Temperature Decay Period adalah waktu peluruhan mulai dari suhu maksimum busur api menuju suhu *threshold*.
- d. *Recorded Peak Current*
Recorded Peak Current merupakan nilai arus maksimum selama terjadinya *fault*.
- e. *Arc Fault Duration*
Arc Fault Duration adalah durasi terjadinya hubung singkat ketika terjadi *arc flash* atau sebagai durasi arus *arcing* muncul.
- f. *Fuse Trip*
Fuse Trip merupakan efek yang disebabkan kontak antar serabut dengan durasi *fault* lama.

**Percobaan ke 1
(Flash)**

arc fault duration: 20 ms
recorded peak current: 116,12 A
maximum temperature: 65,3°C
temperature decay: 12 ms
arc flash area: 1330 mm²
fuse trip: No



Gambar 3.18 Tampilan antarmuka dalam melakukan sinkronisasi data

Pada Gambar 3.18 menunjukkan tampilan antarmuka sinkronisasi data. Dalam proses sinkronisasi data perlu dilakukan pengolahan. Pengolahan dilakukan dengan cara membuat plot hasil pengolahan arus dan tegangan pada DIAdem, kemudian grafik ini diberi *Band Cursor* sebagai *marker* frame pada gambar busur api. *Band Cursor* menunjukkan area terjadinya kejadian. Jadi, *band cursor* digunakan sebagai toleransi mulai terjadinya kontak, *flash*, dan *debris*. Pemilihan frame yang ditampilkan disesuaikan dengan grafik arus, tegangan, dan suhu ketika fenomena busur api listrik terjadi.

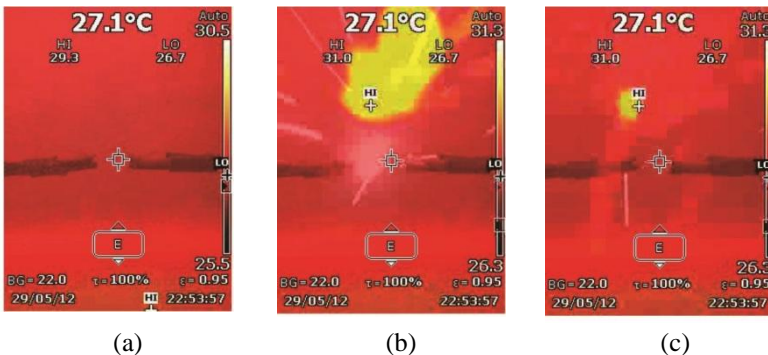
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

ANALISIS DATA

4.1 Perekaman Data Arus, Tegangan, Suhu, dan Citra Bergerak Bunga Api

Pada eksperimen ini kamera termal Fluke Ti 125 digunakan sebagai perekam fenomena busur api listrik yang menghasilkan produk berupa kilatan cahaya (*flash*) dengan intensitas yang tinggi, percikan api (*spark*), dan lelehan serabut konduktor yang menyebar ke segala arah akibat ekspansi tekanan udara yang besar dalam waktu yang singkat. Mode yang digunakan untuk perekaman menggunakan IR (*infrared*) minimum, karena mode ini memperlihatkan gambar *real* dan termal dari suatu objek. Kamera termal Fluke Ti 125 memiliki kecepatan merekam sebesar 60 fps yang artinya setiap detiknya dihasilkan 60 *frame*. Gambar yang dihasilkan oleh kamera termal kurang *smooth*, karena kamera termal memiliki piksel sebesar 160 x 120. Data gambar yang dihasilkan dari perekaman kamera termal berupa suhu maksimum yang terekam, bentuk percikan dari *arc flash*, dan perubahan suhu dari suhu maksimum saat terjadi *arcing* sampai suhu *threshold* yang beresiko mengakibatkan kebakaran. Proses terjadinya busur api listrik yang terekam oleh kamera termal mulai dari kontak (a), *flash* (b), dan *debris* (c) ditunjukkan oleh Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Proses terjadinya busur api listrik yang terekam oleh kamera termal, ketika terjadi kontak (a), *flash* (b), dan *debris* (c)

Fenomena busur api listrik tidak hanya menimbulkan lonjakan arus yang tinggi. Arus yang besar ini akan dilewatkan pada CT 200/5 yang terhubung pada NI 9246 untuk keperluan perekaman data. ketika terjadi kontak, maka beda potensial antara kabel fasa dengan kabel *neutral* akan mengalami penurunan nilai yang drastis. Proses perubahan beda potensial ini diukur menggunakan sensor tegangan Verivolt Entube DE-HB yang kemudian terhubung pada NI 9223.

4.2 Analisis Data Karakteristik Busur Api Listrik Tegangan Rendah pada Hubung Singkat Langsung

Pengambilan data dengan menggunakan kamera termal dan beberapa komponen pengukuran seperti NI 9246, NI 9223, dan Verivolt Entube DE-HB nantinya akan dianalisa. Analisa data tersebut merupakan analisa karakteristik busur api listrik pada tegangan rendah yang meliputi suhu maksimum parameter arus, tegangan, durasi, citra termal dari busur api listrik. Citra termal yang didapat ketika hubung singkat dengan variasi jumlah serabut nantinya akan disinkronkan dengan saat terjadi kontak, *flash*, dan *debris*. Untuk memudahkan sinkronisasi data, grafik sinyal dipotong menggunakan *software* DIAdem 1-4 cycle.

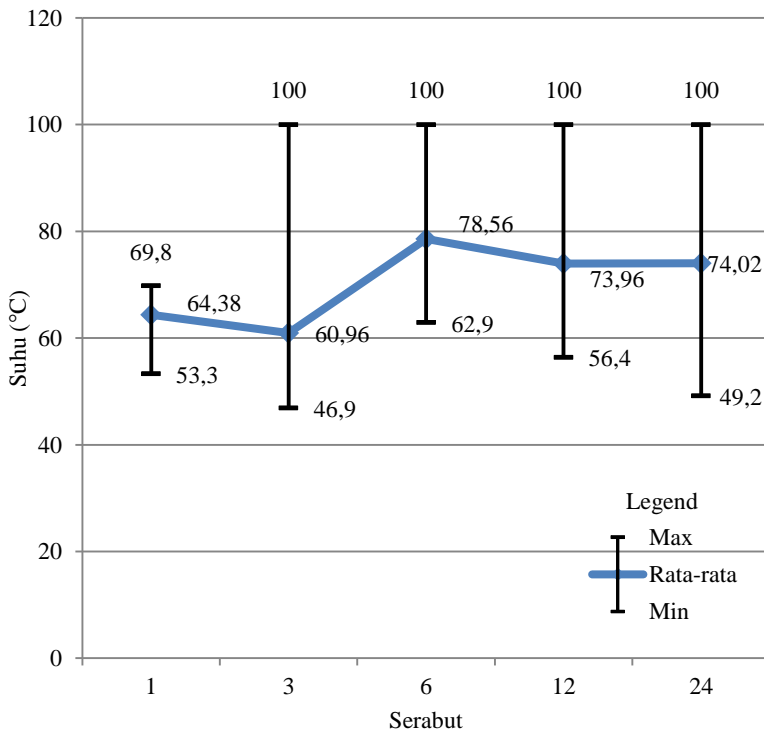
4.2.1 Arc Flash Maximum Temperature

Maximum temperature arc flash merupakan suhu maksimum dari busur api ketika *fault* terjadi. Apabila terjadi perubahan suhu yang sangat cepat, maka kamera termal akan mengalami proses *calibrating*. Proses *calibrating* pada kamera termal merupakan proses penyesuaian suhu yang terekam pada kamera termal sesuai dengan suhu ruang, emisivitas, dan suhu dari suatu objek yang diukur.

Untuk mempermudah penyajian dalam bentuk grafik, suhu yang bernilai $>85^{\circ}\text{C}$ diasumsikan bernilai 100°C . Berikut data suhu maksimum *arc flash* dengan variasi jumlah serabut dapat dilihat pada Tabel 4.1. Grafik suhu maksimum busur api ditunjukkan oleh Gambar 4.2.

Tabel 4.1 Data *maximum temperature arc flash* yang terekam selama eksperimen

Percobaan ke-	1 serabut	3 serabut	6 serabut	12 serabut	24 serabut
1	69.8°C	54.7°C	65.3°C	56.4°C	75.9°C
2	67.3°C	>85.0°C (100°C)	84.6°C	>85.0°C (100°C)	>85°C (100°C)
3	68.2°C	63.0°C	62.9°C	78.8°C	49.2°C
4	63.3°C	46.9°C	>85°C (100°C)	54.6°C	65.0°C
5	53.3°C	50.2°C	>85°C (100°C)	>85.0 (100°C)	>85°C (100°C)



Gambar 4.2 Grafik *maximum temperature arc flash* pada eksperimen

Kamera termal juga memiliki kekurangan dalam menangkap suatu perubahan suhu. Apabila terjadi perubahan suhu yang sangat cepat, maka kamera termal akan mengalami proses *calibrating*. Proses *calibrating* pada kamera termal merupakan proses penyesuaian suhu yang terekam pada kamera termal sesuai dengan suhu ruang, emisivitas, dan suhu dari suatu objek yang diukur.

Pada kabel dengan jumlah 1 serabut, suhu yang terekam kamera termal rata-rata berkisar 64,38°C. Dalam selang waktu yang singkat suhu yang terukur menurun secara drastis. Hal ini diakibatkan serabut yang kabel mengalami kontak hanya berjumlah 1 dan menghasilkan percikan yang sangat cepat karena serabut kabel mengalami proses peleburan dalam waktu yang singkat. Kontak yang terjadi pada 1 serabut menyebabkan suhu maksimum dapat terdeteksi oleh kamera termal secara spesifik.

Pada kabel dengan jumlah 3 serabut, suhu yang dihasilkan pada saat terjadi *arcing* cenderung berbeda-beda. Perbedaan ini diakibatkan jumlah serabut kabel bertambah dan saat terjadi *arcing*, serabut kabel banyak yang saling mengalami kontak. Suhu yang terekam atau terdeteksi oleh kamera termal beberapa spesifik. Suhu yang terukur pada percobaan ke-2 terukur >85°C menandakan suhu pada *arcing* sangat tinggi.

Pada kabel dengan jumlah 6 serabut, suhu yang dihasilkan pada saat *arcing* beberapa spesifik dan lebih besar dari 1 dan 3 serabut. Suhu *arcing* pada percobaan ke-4 dan ke-5 yang terekam oleh kamera termal sebesar >85°C, karena kontak antar serabut berlangsung sangat cepat yang menyebabkan kamera termal tidak dapat mendeteksi suhu saat *arcing*.

Perbedaan suhu maksimum yang terekam oleh kamera termal terlihat pada 12 serabut. Suhu dari busur api yang terdeteksi atau terekam oleh kamera termal awalnya hampir sama dengan jumlah serabut 1 dan 3, namun setelah beberapa saat suhu naik secara signifikan mulai dari puluhan hingga ratusan derajat celcius. Hal ini diakibatkan serabut kabel lebih banyak. Kontak yang terjadi pada 12 serabut lebih lama bahkan sampai terjadi trip pada *fuse*. Hasil yang didapatkan pada jumlah serabut 12 dengan 5 kali percobaan, *fuse* mengalami trip sebanyak dua kali. Serabut kabel yang mengalami kontak selama lebih dari 1 detik menyebabkan *fuse trip*. Dalam pengambilan data terlihat peleburan tembaga.

Pada 24 serabut probabilitas *fuse* mengalami *trip* lebih besar karena serabut yang jumlahnya lebih banyak menyebabkan serabut menjadi lebih tebal. Dari 5 kali percobaan, *fuse* mengalami *trip* sebanyak 3 kali. Pada percobaan ke-2 dan ke-5 suhu yang terekam pada kamera termal sebesar $>85^{\circ}$. Serabut pada kabel yang lebih banyak menyebabkan suhu berubah dengan cepat, sehingga kamera termal tidak dapat mendeteksi suhu maksimum secara spesifik. Suhu yang dihasilkan pada 24 serabut cenderung mengalami kenaikan dibandingkan dengan 12 serabut pada saat terjadi *arc*ing. Akibat jumlah serabut yang banyak, serabut kabel mengalami kontak dalam waktu yang cukup lama bahkan tertahan menyebabkan terjadinya *fuse trip*. Saat terjadi *fuse trip*, suhu sekitar kabel semakin panas, sehingga menyebabkan isolasi pada kabel meleleh.

Dari percobaan ke-1 sampai ke-5 dengan variasi jumlah serabut mempengaruhi suhu maksimum dari busur api. Pada 1 serabut cenderung memiliki suhu yang konstan dan *uniform*. Hal ini diakibatkan oleh jumlah serabut yang mengalami kontak hanya berjumlah 1. Pada jumlah serabut 3, 6, 12, dan 24 suhu maksimum yang dihasilkan saat terjadi busur api berbeda-beda. Hal ini diakibatkan oleh bertambahnya jumlah serabut yang mengalami kontak. Serabut yang mengalami kontak dengan jumlah banyak.

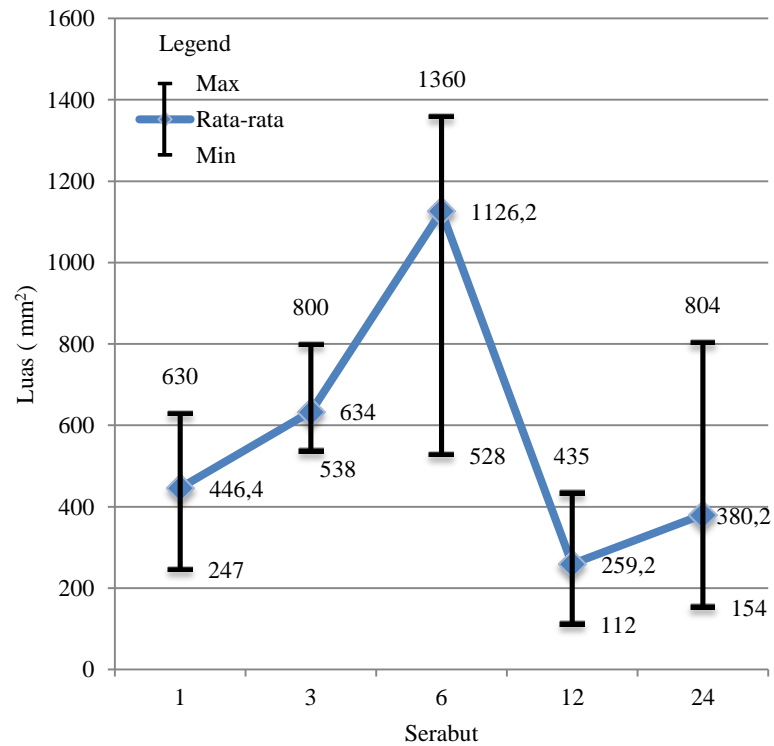
4.2.2 Arc Flash Area

Hubung singkat menghasilkan busur api yang memiliki luas dan bentuk yang berbeda-beda. Pada eksperimen ini variasi jumlah serabut mempengaruhi luas dari busur api yang terekam pada kamera termal. Luas dari busur api ini disebut *arc flash area*. Ukuran luas busur api juga beresiko menyebabkan terjadinya kebakaran. Semakin luas busur api maka resiko terjadinya kebakaran semakin besar, akan lebih berbahaya apabila terkena bahan yang memiliki titik bakar (*fire point*) dan titik nyala (*flash point*) sangat kecil seperti bensin dan bahan peledak.

Busur api yang terekam pada kamera termal memiliki bentuk yang tidak spesifik. Skala yang digunakan untuk mengukur luas busur api berukuran milimeter persegi (mm^2). Luas dari busur api dapat dihitung dengan cara membuat *template* berbentuk persegi dengan ukuran 1 mm^2 . Data *arc flash area* pada eksperimen ditunjukkan pada Tabel 4.2. Grafik *arc flash area* pada eksperimen ditunjukkan oleh Gambar 4.3.

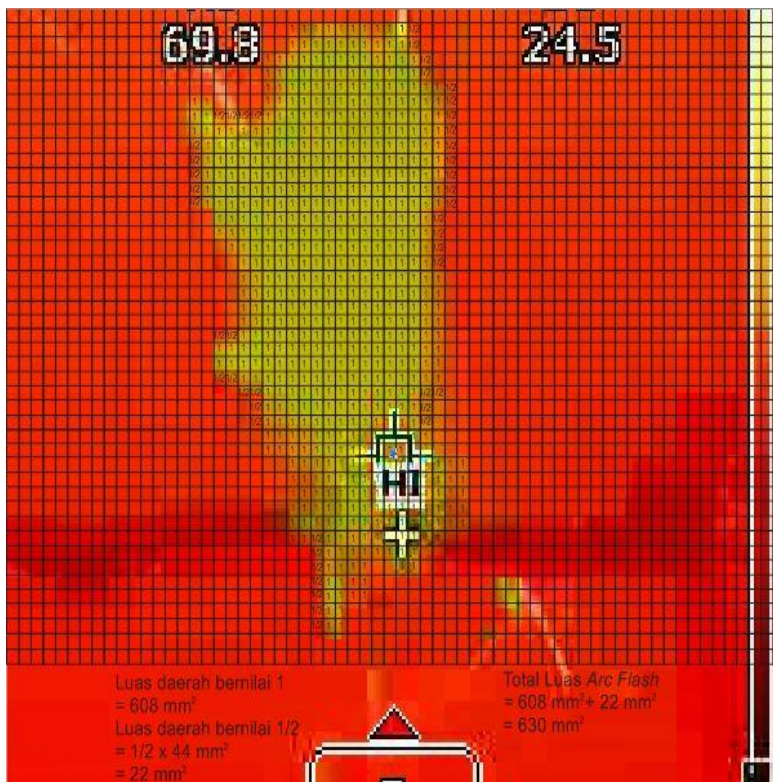
Tabel 4.2 Data *arc flash area* pada eksperimen

Percobaan Ke-	1 serabut	3 serabut	6 serabut	12 serabut	24 serabut
1	630 mm ²	800 mm ²	1330 mm ²	221 mm ²	268 mm ²
2	443 mm ²	644 mm ²	1360 mm ²	435 mm ²	154 mm ²
3	502 mm ²	538 mm ²	528 mm ²	112 mm ²	418 mm ²
4	247 mm ²	632 mm ²	1189 mm ²	300 mm ²	257 mm ²
5	410 mm ²	556 mm ²	1224 mm ²	228 mm ²	804 mm ²



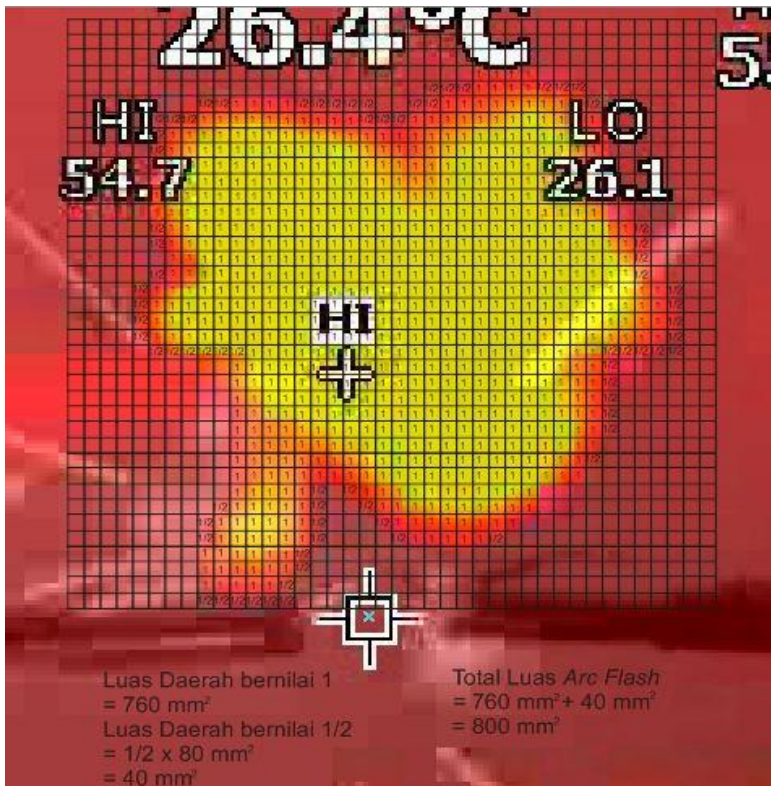
Gambar 4.3 Grafik *arc flash area* pada eksperimen

Cara yang digunakan dalam pengukuran luas busur api sama seperti menghitung luas suatu daerah pada peta. Karena bentuk dari busur api menyerupai daerah atau pulau pada peta. Penentuan luas busur api dengan menggunakan angka 1 dan 1/2 yang nantinya diisi pada kotak yang telah dibuat secara manual. Maksud dari penggunaan angka 1 dan 1/2 adalah jika daerah busur api memenuhi satu kotak penuh *template* yang telah dibuat, maka diberikan angka 1. Jika daerah busur api hanya memenuhi setengah dari kotak, maka diberikan angka 1/2. Selanjutnya dihitung luas total daerah 1 dan luas total daerah 1/2, maka akan didapatkan total dari luas busur api setelah menjumlahkan luas daerah bernilai 1 dan luas daerah bernilai 1/2. *Arc flash area* dengan jumlah 1 serabut sebesar 630 mm² ditunjukkan oleh Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Arc flash area dengan jumlah 1 serabut

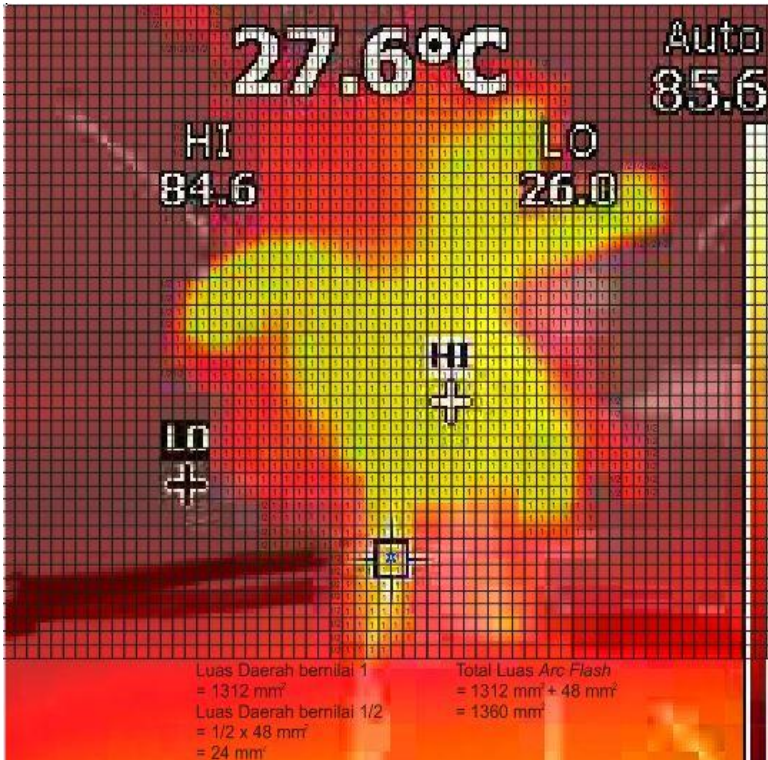
Dengan cara menggunakan kotak *template* yang dibuat dengan ukuran 1 mm², luas busur api pada serabut 1 rata-rata memiliki ukuran luas 446,4 mm². Luas paling besar pada percobaan ke-1 dengan luas sebesar 630 mm², sedangkan luas dengan ukuran terkecil pada percobaan ke-4 sebesar 247 mm². Luas busur api tersebut dipengaruhi oleh jumlah serabut yang mengalami kontak. *Arc flash area* dengan jumlah 3 serabut sebesar 800 mm² ditunjukkan oleh Gambar 4.5.



Gambar 4.5 *Arc flash area* dengan jumlah 3 serabut

Ukuran luas busur api pada 3 serabut cenderung lebih besar dibandingkan dengan 1 serabut. Rata-rata luas pada 1 serabut sebesar 634 mm². Ukuran luas terbesar terdapat pada percobaan ke-1 sebesar 800 mm², sedangkan ukuran terkecil terdapat pada percobaan ke-3

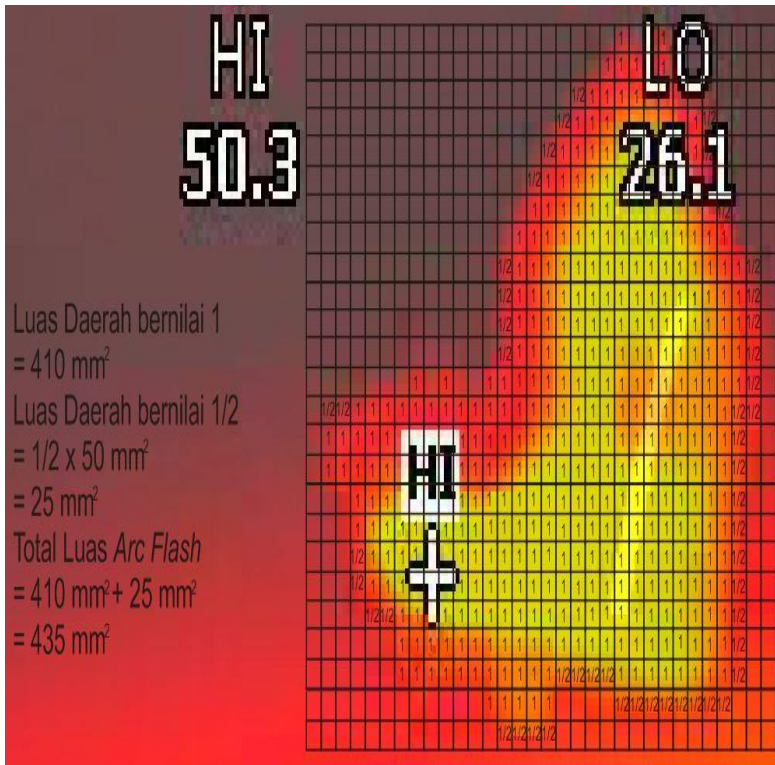
sebesar 538 mm^2 . Luas percikan pada busur api tidak dapat diprediksi atau ditentukan, karena busur api juga bergantung pada jumlah serabut yang mengalami kontak. Pada 3 serabut ukuran luas rata-rata hampir sama dari kelima percobaan *Arc flash area* dengan jumlah 6 serabut sebesar 1360 mm^2 ditunjukkan oleh Gambar 4.6.



Gambar 4.6 *Arc flash area* dengan jumlah 6 serabut

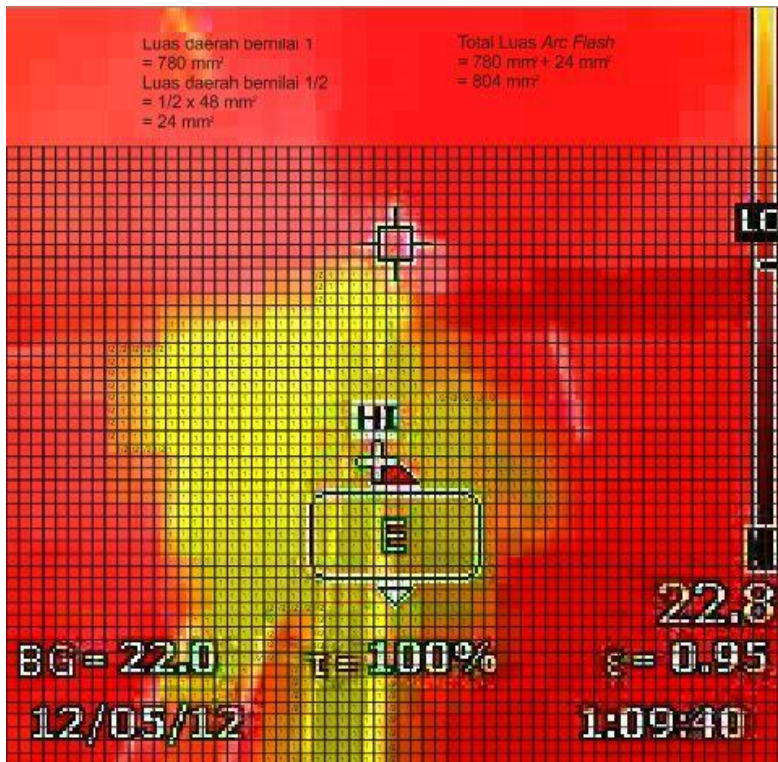
Ukuran luas busur api pada 6 rata-rata sebesar $1126,2 \text{ mm}^2$. Ukuran luas terbesar terdapat pada percobaan ke-2 sebesar 1360 mm^2 , sedangkan ukuran terkecil terdapat pada percobaan ke-3 sebesar 528 mm^2 . Dari kelima percobaan pada 6 serabut ukuran luas rata-rata hampir sama, hanya satu yang berbeda yaitu pada percobaan ke-3. Serabut yang mengalami kontak lebih banyak dibandingkan dengan 1 dan 3 serabut.

Arc flash area dengan jumlah 12 serabut sebesar 435 mm^2 ditunjukkan oleh Gambar 4.7.



Gambar 4.7 *Arc flash area* dengan jumlah 12 serabut

Perbedaan yang signifikan terdapat pada 12 serabut. Ukuran luas busur api rata-rata sebesar $259,2 \text{ mm}^2$. Ukuran luas busur api terbesar pada percobaan ke-2 sebesar 435 mm^2 , sedangkan ukuran luas busur api terkecil terdapat pada percobaan ke-3 sebesar 112 mm^2 . Jumlah serabut yang lebih banyak menyebabkan tiap serabut tidak memungkinkan untuk mengalami kontak secara merata karena serabut menjadi lebih tebal. Serabut yang menjadi tebal menyebabkan kontak menjadi lebih lama tetapi tidak menghasilkan busur api yang besar dan suhu yang dihasilkan menjadi lebih panas. *Arc flash area* dengan jumlah 24 serabut sebesar 804 mm^2 ditunjukkan oleh Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Arc flash area dengan jumlah 24 serabut

Luas busur api pada 24 serabut rata-rata sebesar 411 mm². Ukuran luas busur api terbesar pada percobaan ke-5 sebesar 804 mm², sedangkan luas busur api terkecil pada percobaan ke-2 sebesar 154 mm².

Variasi jumlah serabut mempengaruhi ukuran luas dari busur api. Pada serabut 1, 3, dan 6 kontak antar serabut dapat maksimal karena jarak antar serabut renggang. Sedangkan pada 12 dan 24 serabut, serabut semakin rapat sehingga busur api yang terjadi belum maksimal dan tertutupi oleh busur api yang lain.

4.2.3 Temperature Decay Period

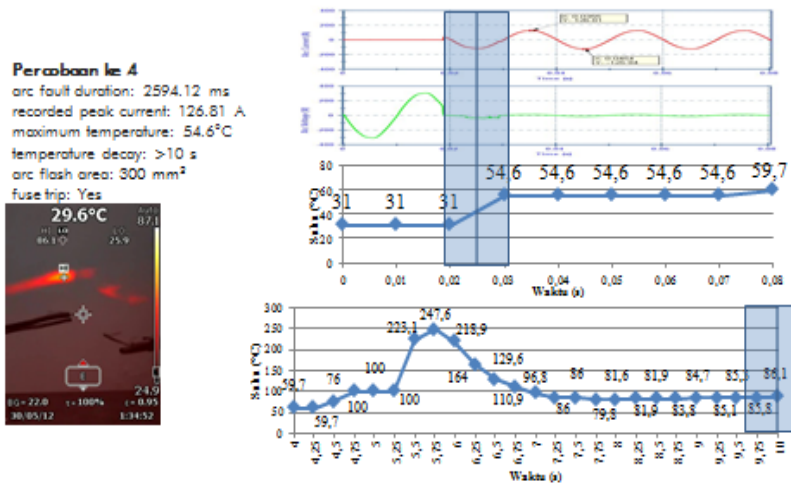
Temperature decay period merupakan waktu yang dibutuhkan suhu maksimum dari busur api untuk meluruh sampai kontak antar

serabut berakhir. Karena suhu yang tinggi berpotensi menyebabkan api dan kebakaran. Waktu peluruhan dapat berlangsung sangat cepat dan lama. Tabel 4.3 dan Gambar 4.9 menunjukkan data eksperimen waktu peluruhan suhu busur api atau *temperature decay period*.

Tabel 4.3 Data *temperature decay period* pada eksperimen

Percobaan ke-	1 serabut	3 serabut	6 serabut	12 serabut	24 serabut
1	2.5 ms	5.9 ms	12 ms	> 10 s	> 10 s
2	2.8 ms	7.5 ms	14.2 ms	> 10 s	5.28 s
3	2.8 ms	6.8 ms	2.9 ms	6.025 s	> 10 s
4	2.7 ms	0 ms*	78.2 ms	> 10 s	7.58 s
5	1.6 ms	0.3 ms	190 ms	6.5 s	> 10 s

*) tidak mengalami *temperature decay period* karena suhu awal dan akhir tidak mencapai 50°C

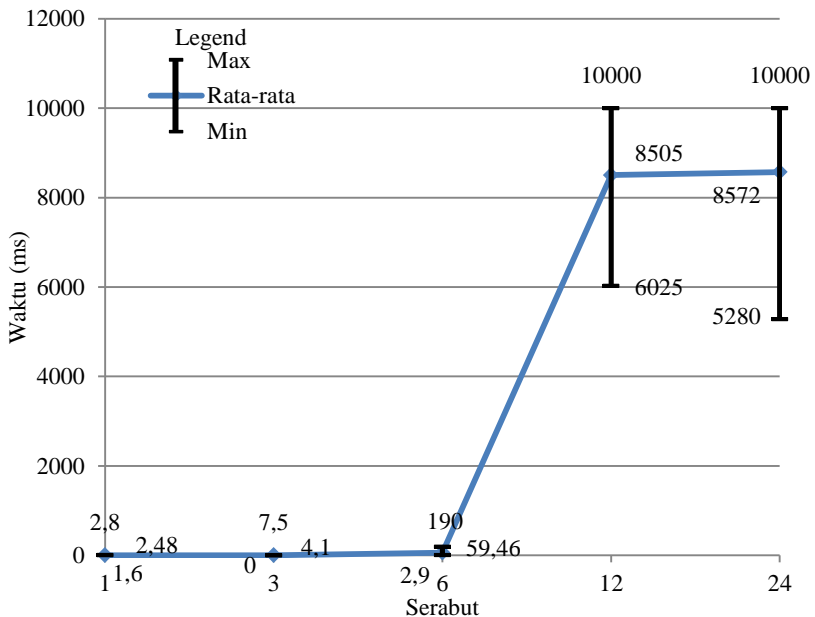


Gambar 4.9 Sinkronisasi *temperature decay period* pada eksperimen

Pada *temperature decay period*, nilai suhu yang digunakan sebagai *threshold* sebesar 50°C. Nilai titik nyala (*flash point*) dari bahan bakar

cair seperti bensin, kerosin, dan sebagainya berkisar 50°C. Menurut NFPA dan Peraturan Khusus EE bahan yang mempunyai titik nyala (*flash point*) kurang dari 55°C celcius merupakan bahan yang mudah terbakar atau memiliki resiko tinggi.

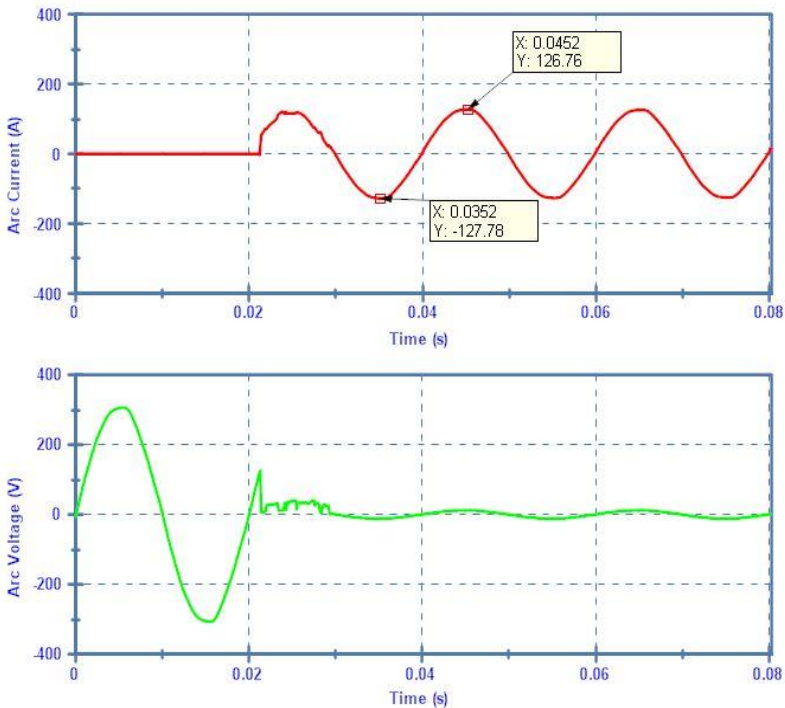
Pada 1, 3, 6, 12, dan 24 serabut, *temperature decay period* menjadi semakin lebih lama. Pada 1 serabut sebesar 2,8 milisekon. Pada 3 serabut meningkat menjadi 7,5 milisekon. Pada 6 serabut meningkat menjadi 190 milisekon. Pada 12 dan 24 serabut mencapai waktu > 10 sekon. Jumlah serabut banyak menyebabkan *temperature decay period* menjadi lebih lama dan memiliki potensi kebakaran sangat besar, karena suhu disekitar kabel menjadi lebih panas. Pada saat *fault* berakhir ternyata suhu pada jumlah serabut banyak semakin meningkat. Grafik *temperature decay period* pada eksperimen ditunjukkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Grafik *temperature decay period* pada eksperimen

4.2.4 Arus Maksimum

Arus maksimum merupakan arus tertinggi yang terjadi ketika hubung singkat atau *fault*. Dengan menggunakan DIAdem untuk menentukan arus maksimum digunakan fitur *max absolute coordinate* dan *min absolute coordinate*. Grafik sinyal arus pada DIAdem memiliki koordinat X dan Y dengan menggunakan *max absolute coordinate* dan *min absolute coordinate* maka secara otomatis akan menemukan arus tertinggi pada grafik sinyal arus *arc*. Penentuan arus maksimum dapat juga menggunakan *crosshair cursor*, namun cara menggunakannya secara manual. Gambar 4.11 menunjukkan grafik arus maksimum menggunakan *max absolute coordinate* dan *min absolute coordinate*. Data arus maksimum yang terekam pada saat eksperimen ditunjukkan pada Tabel 4.4.

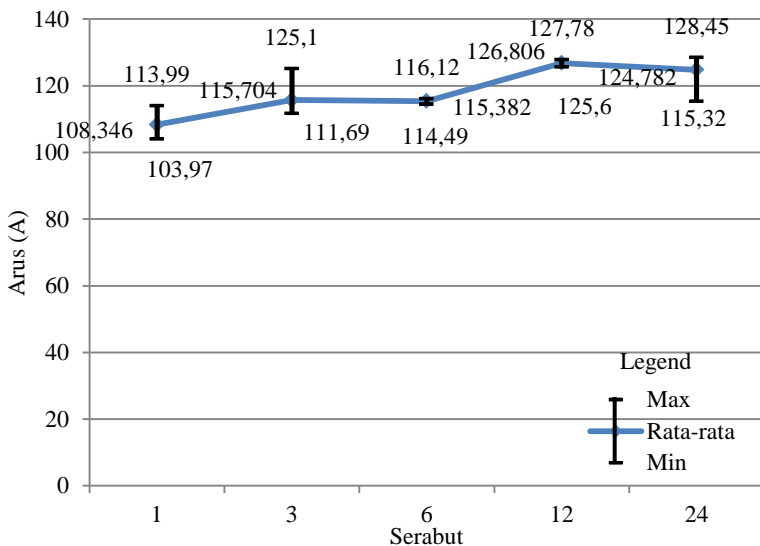


Gambar 4.11 Grafik arus maksimum menggunakan *max & min absolute coordinate*

Tabel 4.4 Data arus maksimum yang terekam selama eksperimen

Percobaan ke-	1 serabut	3 serabut	6 serabut	12 serabut	24 serabut
1	103.97	114.97	116.12	127.78	128.45
2	113.99	111.69	115.26	125.60	115.32
3	104.90	111.75	115.87	126.38	126.94
4	104.57	125.10	114.49	126.81	126.30
5	114.30	115.01	115.17	127.46	126.90

Dengan variasi jumlah serabut mempengaruhi nilai arus maksimum saat terjadi *fault*. Semakin banyak jumlah serabut yang mengalami kontak, maka semakin besar arus yang dapat dilewatkan pada kabel. Grafik arus maksimum ditunjukkan oleh Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Grafik arus maksimum pada eksperimen

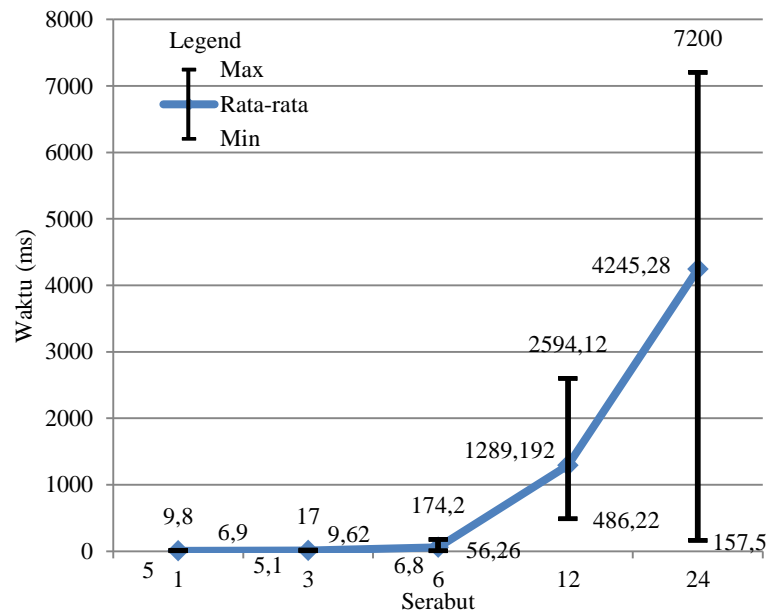
4.2.5 Fault Duration

Dari hasil eksperimen serabut dengan jumlah yang sedikit memiliki *fault duration* yang singkat rata-rata 6,49 milisekon. Sedangkan hasil

eksperimen dengan jumlah serabut yang banyak memiliki rata-rata *fault duration* lebih dari 1,5 sekon. Tabel 4.5 menunjukkan *fault duration* selama eksperimen berlangsung. Grafik *fault duration* ditunjukkan oleh Gambar 4.13.

Tabel 4.5 Data *fault duration* pada eksperimen

Percobaan Ke-	1 serabut	3 serabut	6 serabut	12 serabut	24 serabut
1	5 ms	8.2 ms	20 ms	1,250.40 ms	7.2 s
2	6.6 ms	10 ms	20.3 ms	486.22 ms	157.5 ms
3	9.8 ms	7.8 ms	6.8 ms	563.02 ms	6.7 s
4	8.1 ms	17 ms	60 ms	2594.12 ms	7 s
5	5 ms	5.1 ms	174.2 ms	1552.20 ms	168.9 ms



Gambar 4.13 Grafik *fault duration* pada eksperimen

4.2.6 Fuse Trip

Selama proses pengambilan data, pada eksperimen dengan jumlah serabut yang banyak sempat mengalami *fuse trip*. Serabut dengan jumlah 12 mengalami *trip* dua kali yaitu pada percobaan ke-4 dan ke-5. Sedangkan serabut dengan jumlah 24 mengalami *trip* sebanyak 3 kali yaitu pada percobaan ke-1, percobaan ke-3, dan percobaan ke-4. Serabut dengan jumlah 12 pada percobaan ke-4 dan ke-5 rata-rata memiliki *fault duration* lebih dari satu detik yaitu sebesar 2.073,16 detik. Serabut dengan jumlah 24 pada percobaan ke-1, 3, dan 4 rata-rata memiliki *fault duration* lebih dari 2 detik.

Untuk jumlah serabut 12 dan 24 memiliki perbedaan waktu saat *trip*. Sekereing otomatis bekerja dengan bimetal dan memanfaatkan panas yang ditimbulkan oleh beban listrik yang digunakan. Panas membuat logam pada sekering memuai. Perubahan bentuk logam dimanfaatkan sebagai pemutus pada tingkat panas tertentu. Secara umum perangkat pengaman yang digunakan seperti sekering otomatis akan mengalami *trip* ketika *fault duration* lebih dari 1,5 detik. Tabel 4.6 menunjukkan data eksperimen yang mengalami *fuse trip*.

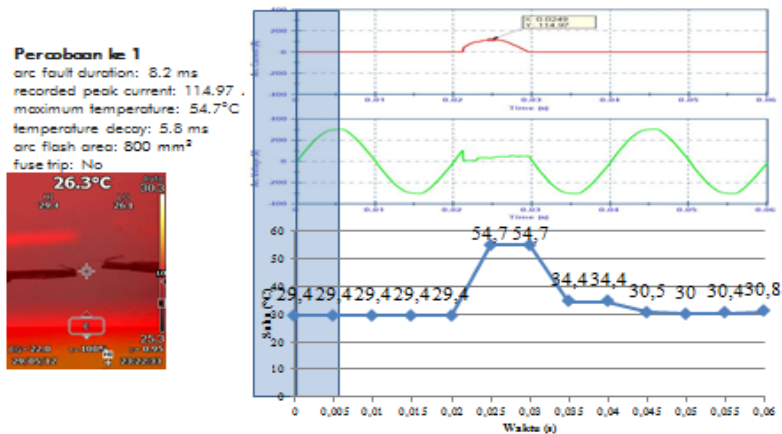
Tabel 4.6 Data status *fuse trip* pada eksperimen

Percobaan ke-	1 serabut	3 serabut	6 serabut	12 serabut	24 serabut
1	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Ya
2	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
3	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Ya
4	Tidak	Tidak	Tidak	Ya	Ya
5	Tidak	Tidak	Tidak	Ya	Tidak

4.2.7 Sinkronisasi Data

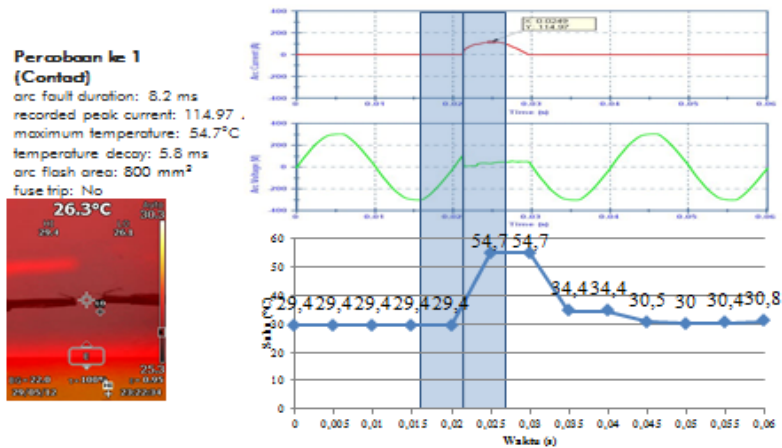
Untuk sinkronisasi data, dari citra statik yang didapatkan dari pengolahan menggunakan *scene filter* selanjutnya akan disesuaikan oleh grafik arus dan tegangan. Dalam tampilan antar muka nantinya akan diketahui bagaimana citra termal pada saat kontak, *flash*, dan *debris*. Dengan menggunakan *band cursor* dapat diketahui daerah toleransi saat terjadinya kontak sampai *fault* selesai. Hasil sinkronisasi data dengan menampilkan sinkronisasi citra termal dengan grafik arus, tegangan, dan

suhu saat kontak sampai *debris* ditunjukkan oleh Gambar 4.14, Gambar 4.15, Gambar 4.16, dan Gambar 4.17.



Gambar 4.14 Sinkronisasi data sebelum terjadi kontak

Pada Gambar 4.12 menunjukkan sinkronisasi data antara arus, tegangan, dan suhu sebelum terjadinya kontak. Suhu yang terukur sebesar 29,4°C.

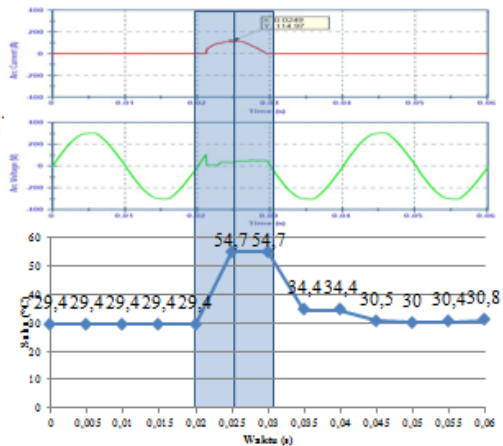


Gambar 4.15 Sinkronisasi data saat terjadi kontak

Pada Gambar 4.15 menunjukkan sinkronisasi data antara arus, tegangan, dan suhu saat terjadi kontak. Suhu yang terukur meningkat menjadi $> 29,4^{\circ}\text{C}$.

Percobaan ke 1 (Flash)

arc fault duration: 8.2 ms
recorded peak current: 114.97
maximum temperature: 54.7°C
temperature decay: 5.8 ms
arc flash area: 800 mm^2
fuse trip: No

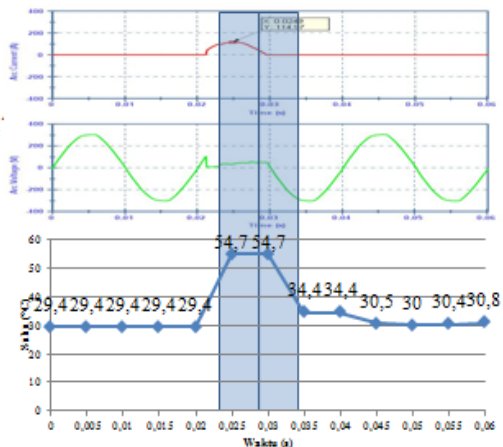
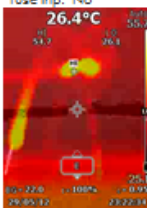


Gambar 4.16 Sinkronisasi data saat terjadi *flash*

Pada Gambar 4.16 menunjukkan sinkronisasi data antara arus, tegangan, dan suhu saat terjadi *flash*. Suhu yang terukur meningkat menjadi $54,7^{\circ}\text{C}$.

Percobaan ke 1 (Debris)

arc fault duration: 8.2 ms
recorded peak current: 114.97
maximum temperature: 54.7°C
temperature decay: 5.8 ms
arc flash area: 800 mm^2
fuse trip: No



Gambar 4.17 Sinkronisasi data saat terjadi *debris*

Pada Gambar 4.17 menunjukkan sinkronisasi data antara arus, tegangan, dan suhu saat terjadi *debris*. Suhu yang terukur hampir sama dengan saat terjadi *flash* 54,7°C.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari eksperimen dan analisis fenomena busur api listrik tegangan rendah pada kasus hubung singkat langsung melalui sinkronisasi penginderaan termal bunga api dan arus hubung singkat adalah sebagai berikut:

1. Variasi jumlah serabut pada eksperimen menunjukkan bahwa banyaknya serabut berpengaruh terhadap suhu maksimum dari busur api. Dari hasil eksperimen, suhu maksimum busur api dengan jumlah 1 serabut sebesar $69,8^{\circ}\text{C}$ sedangkan dengan jumlah 3, 6, 12, dan 24 serabut sebesar $>85^{\circ}\text{C}$ dengan asumsi $>85^{\circ}\text{C}$ (100°C).
2. Variasi jumlah serabut mempengaruhi ukuran luas dari busur api. Pada serabut 1, 3, dan 6, kontak antar serabut dapat maksimal karena jarak antar serabut renggang sehingga busur api yang terjadi maksimal. Sedangkan pada 12 dan 24 serabut, serabut semakin rapat sehingga busur api yang terjadi belum maksimal dan tertutupi oleh busur api yang lain. Dari hasil eksperimen, serabut dengan jumlah sedikit menghasilkan luas busur api yang besar sedangkan jumlah serabut banyak menghasilkan luas busur api kecil. Rata-rata ukuran luas busur api pada tiap serabut 1,3, dan 6 sebesar $446,4\text{ mm}^2$, 634 mm^2 , dan $1126,2\text{ mm}^2$ sedangkan pada 12 dan 24 serabut sebesar $259,2\text{ mm}^2$ dan $380,2\text{ mm}^2$.
3. Banyaknya serabut yang mengalami kontak mempengaruhi terjadinya *temperature decay period*. Dari hasil eksperimen, rata-rata pada 1 serabut 2,48 milisekon, 3 serabut 4,1 milisekon, 6 serabut 59,46 milisekon, 12 serabut 8505 milisekon, dan 24 serabut 8572 milisekon. Jumlah serabut banyak menyebabkan *temperature decay period* menjadi lebih lama dan memiliki potensi kebakaran sangat besar, karena suhu disekitar kabel menjadi lebih panas. Pada saat *fault* berakhir ternyata suhu pada jumlah serabut banyak semakin meningkat.

4. Variasi jumlah serabut berpengaruh terhadap nilai arus maksimum. Dari hasil eksperimen arus maksimum dengan jumlah 1 serabut sebesar 113,99 A, 3 serabut sebesar 115,01 A, 6 serabut sebesar 116,12 A, 12 serabut sebesar 127,78 A, 24 serabut sebesar 128,45 A. Semakin banyak jumlah serabut yang mengalami kontak, semakin besar arus yang bisa dilewatkan yang efeknya terhadap *fault duration*.
5. Banyaknya jumlah serabut mempengaruhi *fault duration*. Dari hasil eksperimen, *fault duration* pada 1 serabut 9,8 milisekon, 3 serabut 17 milisekon, 6 serabut 174,2 milisekon, 12 serabut 2594,12 milisekon, dan 24 serabut 7,2 sekon. Busur api listrik dengan jumlah serabut sedikit menyebabkan meleburnya serabut secara cepat, sehingga *fault duration* menjadi singkat. Pada busur api listrik dengan jumlah serabut yang banyak, dimungkinkan serabut mengalami kontak kemudian menempel, sehingga durasi hubung singkat lebih lama, dan mengakibatkan *fuse* mengalami trip.
6. Respon dari pengaman instalasi tegangan rendah menunjukkan bahwa *fuse* otomatis mengalami trip dengan waktu $> 1,5$ detik, sehingga menyebabkan *fault duration* berlangsung lama.

5.2 Saran

Eksperimen analisa busur api listrik tegangan rendah melalui sinkronisasi penginderaan termal bunga api dan arus hubung singkat telah mampu menunjukkan beberapa karakteristik busur api listrik seperti suhu maksimum, luas busur api, waktu peluruhan suhu dari busur api, arus maksimum, dan *fault*. Tetapi, diperlukan alat eksperimen yang lebih otomatis dan terkontrol agar mempermudah dalam proses perekaman dan pengolahan data.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K.Mishra, A.Routray, and A. K. Pradhan, “*Detection of Arcing in Low Voltage Distribution Systems*”, IEEE Region 10 Colloquium and the Third International Conference on Industrial and Information Systems 2008, pp. 1-3.
- [2] National Fire Protection Association, “*NFPA 70E: Standard for Electrical Safety in the Workplace*”, NFPA 2004.
- [3] Badan Standarisasi Nasional. 2000. *Persyaratan Umum Instalasi Listrik*. Jakarta. BSN.
- [4] Berdasarkan data Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) periode Agustus 2011-2015.
- [5] J.M. Martel, M. Anheuser, and F. Berger, “*A Study of Arcing Fault in The Low-Voltage Electrical Installation*”, IEEE 2010, pp. 1-11.
- [6] Albert M. Smoak, P.E., Adam J. Keeth, “*An Investigation of Low Voltage Arc Flash Exposure*”, IEEE 2013, pp. 183-185.
- [7] G. Artale, A. Cataliotti, V. Cosentino, and G. Privitera, “*Experimental Characterization Of Series Arc Faults In AC And DC Electrical Circuits*”, 2014, pp. 1015–1020.
- [8] N. K. Medora and A. Kusko, “*Arcing Faults In Low And Medium Voltage Electrical Systems - Why Do They Persist?*”, 2011, pp. 1–6.
- [9] E. Carvou, N. Ben Jemaa, S. Tian, Z. Belhaja, and B. Jusselin, “*Electrical Arc Characterization For Ac-Arc Fault Applications*”, 2009, pp. 22–27.
- [10] Lilley G. David, Lilley & Associates, “*Fire Causes and Ignition*”, IEEE 1996, pp. 85-87.
- [11] National Fire Protection Association, “*NFPA Classification of Flammable and Combustible Liquids*”, NFPA 2006.
- [12] Kolarić Darko, Lipić Tomislav, Grubišić Ivan, Gjenero Luko, and Skala Karolj, “*Application of Infrared Thermal Imaging in Blade System Temperature Monitoring*”, IEEE 2011, pp. 1-4.

Halaman ini sengaja dikosongkan

RIWAYAT HIDUP



Rifki Wiryatama. Penulis biasa dipanggil Rifki. Penulis lahir di kota Surabaya pada 3 Desember 1993. Penulis memulai pendidikannya dari TK Aisyah pada tahun 1998-2000, kemudian melanjutkan studi di SDN Barata Jaya 202 Surabaya pada tahun 2000-2006, SMP Negeri 19 Surabaya pada tahun 2006-2009, SMA Negeri 4 Surabaya pada 2009-2012, dan penulis melanjutkan studi di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi

Sepuluh Nopember Surabaya hingga saat ini. Semasa kuliah, penulis mengambil bidang studi Teknik Sistem Tenaga dan fokus pada riset mengenai busur api listrik. Penulis juga aktif dalam kepengurusan kepanitiaan event yang dilaksanakan di jurusan Teknik Elektro ITS, yaitu sebagai Wakil Ketua Electra 2013. Selain itu penulis juga terdaftar sebagai Asisten Laboratorium Tegangan Tinggi Jurusan Teknik Elektro ITS. Penulis dapat dihubungi melalui email wiryatamar@gmail.com.

Halaman ini sengaja diskosongkan